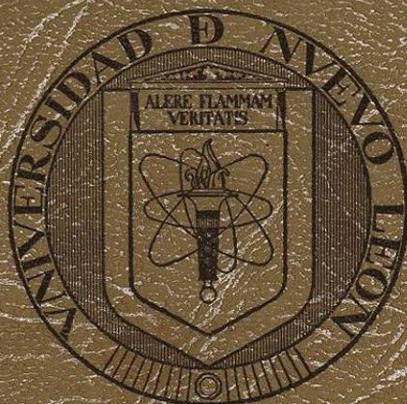


UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Construcción y Operación de un Secador  
Rotatorio Experimental de Calefacción  
Indirecta-Directa



Tesis que para su exámen profesional de  
INGENIERIA QUIMICA

Presenta el Pasante

ARTURO FLORES PEREZ

Monterrey, N. L., Abril de 1962

T

TP363

F5

c.1

37



1080078162

ARTURO FLORES DIAZ

C.I.S.F

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON

Facultad de Ciencias Químicas

BIBLIOTECA

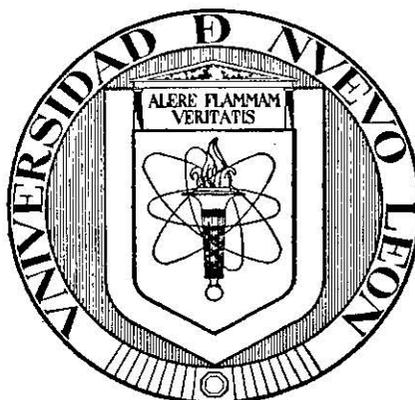
ARTURO FLORES PEREZ

37



**INVENTARIADO  
AUDITORIA  
U. A. N. L.**

# UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Construcción y Operación de un Secador  
Rotatorio Experimental de Calefacción  
Indirecta-Directa



Tesis que para su exámen profesional de

INGENIERIA QUIMICA

Presenta el Pasante

ARTURO FLORES PEREZ

Monterrey, N. L., Abril de 1962

T  
R 363  
R 5



COMO SIMBOLO DE ETERNO RECONOCIMIENTO  
Y HONDA GRATITUD HACIA MIS QUERIDOS  
PADRES.

AGRADECIENDO INFINITAMENTE TODAS LAS COLABORACIONES PRESTADAS POR QUIENES ME DIRIGIERON, ASESORARON O DESINTERESADAMENTE EN ALGUNA FORMA ME OFRECIERON SU VALIOSA AYUDA MORAL O MATERIAL, EN LA REALIZACION DE ESTE PEQUEÑO TRABAJO.

- INDICE DE CAPITULOS -

- I.- Introducción
- II.- Generalidades
- III.- Teoría General de Secado.
- IV.- Teoría de Secado en Secadores Rotatorios.
- V.- Clasificación de Secadores Rotatorios.
- VI.- Construcción detallada de un Secador Rotatorio Experimental.
- VII.- Operación de un Secador Rotatorio Experimental.
- VIII.- Resultados obtenidos en las Prácticas Experimentales.
- IX.- Eficiencia Térmica del Secador.
- X.- Conclusiones y Comentarios.
- XI.- Bibliografía

## I.- INTRODUCCION.

El objeto del presente trabajo, es el estudio de la operación unitaria conocida en la Ingeniería Química como secado, efectuada en particular en sólido y en los equipos llamados secadores rotatorios.

No obstante que en el desarrollo de este trabajo se mencionarán algunos de los métodos de secado de sólidos, se enfocará toda la atención al método seguido en los secadores rotatorios. A través de los diferentes capítulos en que está dividido este estudio, podrá apreciarse la secuencia seguida en el diseño, construcción y operación del citado equipo secador.

Podrá distinguirse el cálculo del equipo y su diseño, la construcción, su operación y finalmente los resultados obtenidos en la experimentación y el cálculo de su eficiencia térmica. Será notorio también el hecho de que el mencionado secador rotatorio construido para este trabajo está equipado igualmente de un dispositivo de separación de polvo, tipo Ciclón, diseñado especialmente para las condiciones de operación del equipo y que trabaja con singular eficiencia.

Aunque el presente trabajo carece en forma marcada de multitud de datos, y peca de notoria sencillez en toda su extensión, comparándolo con los excelentes estudios de que se dispone en la actualidad al respecto del tema, se ha llevado a cabo con la mejor voluntad y con la sola intención, no de ampliar en forma alguna los conocimientos que sobre el particular existen, sino de tratar una vez más, y en forma por demás llana y sencilla, el importante tema del secado de sólidos en equipos secadores rotatorios.

## II.- GENERALIDADES.

Secado significa eliminar un líquido de un sólido por procedimientos térmicos. Esta definición distingue el secado de la extracción de la humedad de sólidos por medios mecánicos, pero sin establecer ninguna diferencia con respecto a la evaporación, en la cual se utiliza calor para evaporar grandes cantidades de agua, de soluciones y suspensiones.

El secado y la evaporación se diferencian por el aparato empleado para realizar la operación y porque en los procesos de evaporación se eliminan, por lo general, cantidades mucho mayores de líquido por hora que en los procesos de secado.

Se ha aplicado también el nombre de deshidratación a los procesos de

secado, pero su uso se ha limitado casi por entero al secado de alimentos. Este término alude también a la eliminación del agua de combinación de las sales inorgánicas y a la eliminación simultánea del hidrógeno y grupos hidroxilos de los compuestos orgánicos.

Las operaciones de secado desempeñan un papel importante en casi todos los procesos químicos y mantiene una relación casi fija con otras operaciones de un proceso. Así, sigue a menudo a una filtración o a una centrifugación y precede a un paso de molienda o de empaquetamiento, por lo que se considera frecuentemente como una "Operación de Acabado", ya que en la mayoría de los casos se efectúa o se verifica cerca del final del proceso, inmediatamente antes de preparar el producto para su expedición o embarque. La operación de secado va comunmente precedida por un proceso de escurrimiento mecánico del agua, pues es mucho menos costoso y generalmente más fácil separar un líquido de un sólido por procedimientos mecánicos que por procedimientos térmicos, como el secado.

Las razones para efectuar una operación de secado son múltiples, pero de ordinario son una o varias de las siguientes:

- 1.- Facilitar la manipulación en algún tratamiento posterior.
- 2.- Permitir la utilización satisfactoria del producto final.
- 3.- Reducir los costos de transporte.
- 4.- Aumentar la capacidad de otros aparatos o instalaciones del proceso.
- 5.- Conservar un producto durante su almacenamiento y su transporte.
- 6.- Aumentar el valor, la utilidad de los desperdicios y los subproductos obtenidos.

A continuación se definen los términos generales aceptados, peculiares a la desecación:

Humedad aprisionada es el líquido retenido por un sólido que ejerce una presión de vapor menor que la del líquido puro a la misma temperatura. El líquido puede estar aprisionado por su retención en pequeños tubos capilares, por formar soluciones fibrosas o celulares en las paredes, por formar solución homogénea en todo el sólido y por su adsorción química o física sobre superficies sólidas. La humedad aprisionada solo puede eliminarse de un sólido en condiciones concretas de humedad del medio externo que le rodea.

Circulación capilar es el flujo del líquido por los intersticios y sobre la superficie de un sólido, producida por la atracción molecular líquido-sólido.

Base seca comercial es un término que expresa el contenido de humedad en kilogramos de agua por kilogramo de sólido cuando éste sale del desecador.

Período de intensidad constante es el período de la desecación durante el cual el gasto o intensidad con que se elimina el agua por unidad de superficie de desecación es constante.

Contenido crítico de humedad es el que se obtiene cuando termina el período de intensidad constante.

Base de peso seco indica el contenido de humedad de un sólido húmedo en kilogramos de agua por kilogramo de sólido completamente seco. La ventaja de utilizar esta base es que la pérdida de humedad se obtiene restando los contenidos de humedad antes y después de la desecación. Véase la definición de base peso húmedo.

Rendimiento de un desecador es la fracción del calor total suministrado por el combustible utilizado en evaporar agua. A veces se emplea el término "Rendimiento Total" para distinguir el "Rendimiento Total del Sistema" del "Rendimiento del Espacio de Desecación".

Contenido de humedad en equilibrio es aquel al cual puede secarse un material dado en condiciones concretas de temperatura y humedad del aire.

Período de intensidad decreciente es el de la desecación durante el cual disminuye continuamente la intensidad instantánea de la desecación.

Punto de saturación de la fibra es el contenido de humedad de los materiales celulares (madera, etc.), en el cual las paredes de las células están completamente saturadas mientras que las cavidades no contienen líquido. Puede definirse por el contenido de humedad en equilibrio cuando la humedad de la atmósfera que rodea al material se acerca a la saturación.

Contenido de humedad libre es el líquido que puede eliminarse para una temperatura y una humedad dadas. Puede incluir humedad aprisionada y sin aprisionar.

Estado funicular es el de un cuerpo poroso cuando al desecarlo chupa aire dentro de los poros por la succión capilar.

Humedad denota la cantidad de vapor de agua realmente presente en un gas.

### III.- TEORIA GENERAL DE SECADO Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Cuando se deseca un sólido, se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- 1.- Transmisión de calor para evaporar el líquido.
- 2.- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Los factores que rigen la intensidad de cada uno de estos procesos son los que determinan la rapidez del proceso de secado.

En las operaciones industriales de secado se utilizan la transmisión de calor por convección, conducción, radiación, o una combinación de cualquiera de estos mecanismos. Los secadores industriales se distinguen fundamentalmente por los métodos que emplean para transmitir el calor. Sin embargo, independientemente del mecanismo de transmisión del calor, éste tiene que pasar primero a la superficie exterior, y desde ella al interior del sólido. La única excepción es el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor internamente y por consiguiente, produce una temperatura más elevada dentro del sólido que en su superficie; esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior.

La masa se transfiere en el secado como:

- 1.- Líquido o vapor o como ambos dentro del sólido.
- 2.- Como vapor desde las superficies húmedas.

El gradiente de concentración del líquido depende del mecanismo de circulación del líquido dentro del sólido.

El estudio de como se seca un sólido puede basarse en el mecanismo interno de la circulación del líquido o en el efecto de las condiciones externas que actúan sobre el proceso.

Algunos de los mecanismos internos posibles son los siguientes:

- 1.- Difusión en sólidos homogéneos continuos.
- 2.- Circulación capilar sólidos granulares y porosos.
- 3.- Circulación producida por los gradientes de contracción y de presión.
- 4.- Circulación causada por la gravedad.
- 5.- Circulación causada por una sucesión de vaporizaciones y condensaciones.

Puede decirse que en general uno de estos mecanismos predomina en un

momento dado en el sólido durante su secado y no es raro encontrar diferentes mecanismos predominando en distintos momentos durante el ciclo de secado.

El estudio del secado basado en los efectos de las variables externas es el método comúnmente empleado para investigar las características del secado de sólidos. Esto se debe a que los resultados así obtenidos suelen ser directamente aplicables al proyecto y funcionamiento de los secadores.

Las principales variables externas en cualquier estudio de secado son: La temperatura, la humedad, la ventilación, el estado de subdivisión del sólido, la agitación del mismo, el método para soportarlo y el contacto entre superficies calientes y el sólido húmedo. No todas estas variables se presentan necesariamente en un mismo problema.

#### IV.- TEORÍA DE SECADO EN SECADORES ROTATORIOS.

El secado en un secador rotatorio directo de un solo cilindro se expresa mejor como un mecanismo de transmisión de calor por medio de la ecuación:

$$q_t = (U_a V (\Delta t)_m) \quad \text{Ec. (1)}$$

En la cual  $q_t$  calor total transmitido, Kcal/hr., ( $U_a$  = coeficiente volumétrico de transmisión de calor, Kcal/hr.(m<sup>3</sup> de vol. del secador)<sup>°C</sup>) -  $V$  = volumen del secador; m<sup>3</sup> y  $(\Delta t)_m$  = diferencia media de temperatura real entre los gases calientes y el material, °C.

El secado en un secador continuo se divide en tres zonas:

- 1.- Calentamiento del material húmedo hasta una temperatura superficial constante que se acerque a la temperatura de ampolla húmeda del aire,
- 2.- Secado a esta temperatura constante,
- 3.- Eliminación de los últimos vestigios de humedad durante un período en el cual se eleva la temperatura del material. La diferencia media total de las temperaturas de las tres zonas se calcula por medio de balances caloríficos, de acuerdo con la fórmula:

$$\frac{1}{(\Delta t)_m} = \frac{q_p}{q_t (\Delta t)_p} + \frac{q_v}{q_t (\Delta t)_v} + \frac{q_s}{q_t (\Delta t)_s} \quad \text{Ec. (2)}$$

en la cual  $q_p$  calor transmitido al material húmedo mientras se lo calienta hasta la temperatura de ampolla húmeda del aire, Kcal/hr.  $q_v$  = calor latente transmitido al material mientras se está evaporando

la humedad a temperatura constante, Kcal/hr.

$q_s$  = calor sensible transmitido al material seco mientras se calienta - hasta la temperatura de descarga, Kcal/hr.

$q_t$  = calor total transmitido en el secador, Kcal/hr.

$(\Delta t)_p$  = diferencia media de temperaturas entre el aire y el material mientras se calienta a la temperatura de ampolla húmeda del aire, °C.

$(\Delta t)_v$  = diferencia media de temperatura entre el aire y el material a temperatura constante, °C.

$(\Delta t)_s$  = diferencia media de temperaturas entre el aire y el material - mientras se lo calienta a su temperatura de descarga, °C.

$(\Delta t)_m$  = diferencia media de temperaturas total en el secador, °C.

La ecuación (2) se verifica en todos los secadores directos continuos. Cuando se elimina mucha humedad a un material,  $q_v$  será casi igual a  $q_t$ .

En este caso, una buena aproximación de  $(t)_m$  es la media logarítmica entre las depresiones o descensos de ampolla húmeda del aire de desecado a la entrada y a la salida del secador.

- Se han obtenido datos para calcular  $U_a$  deducidos de pruebas hechas con un pequeño secador rotatorio. Aunque estas investigaciones demostraron que  $U_a$  es una función compleja de la velocidad de alimentación, del flujo del - aire y de las propiedades físicas del material, puede basarse un proyecto - conservador en la ecuación siguiente:

$$U_a = 38G^{0.16}/D$$

En la cual  $G$  = masa velocidad del aire, Kg./((hr)(m<sup>2</sup> de sección transversal - del secador) y  $D$  = diámetro del secador, m.

El volumen del secador  $V$ , puede calcularse por medio de la ecuación (1) si se conoce  $q_t$ , y las ecuaciones (2) y (3) se utilizan para hallar  $(t)_m$  y  $V_a$ . A menos que las características del material limiten la temperatura del gas, la diferencia de temperaturas en la entrada suele fijarla el medio empleado para el calentamiento; esto es, 140° a 170° C para el vapor de agua, o 550° a 670° C para los quemadores de gas, carbón o petróleo. La temperatura adecuada del gas a la salida suela ser en realidad una cuestión económica. Se determina, basándose en la práctica, como sigue: La ecuación (3) - unida a un balance calorífico sobre el gas da la expresión siguiente:

$$N_t = \frac{t_1 - t_2}{(t)_m} = \frac{38 L}{C_p G^{0.84} D} \quad \text{Ec. (4)}$$

en la cual  $N_t$  número de unidades de transmisión de calor basadas en el gas;  $t_1$  = temperatura inicial de gas,  $t_2$  = temperatura del gas a la salida corregida por las pérdidas de calor, °C;  $L$  = longitud del secador, m; y  $C_p$  = calor específico de los gases empleados para el calentamiento, Kcal/(Kg)(°C). La ecuación (4) puede usarse para elegir una temperatura del gas saliente, ya que se ha averiguado (empíricamente) que los secadores rotativos funcionan más económicamente cuando  $N_t = 1.5$  a  $2$ . La ecuación (4) puede modificarse para darle la forma  $L_t = 0.026 C_p G^{0.84} D$ .

Ec. (5), en la cual  $L_t$  = longitud de una unidad de transferencia.

La masa velocidad del aire,  $G$ , normalmente empleada es la más elevada que no de lugar a una formación excesiva de polvo. Una vez que se haya fijado  $G$  y se haya elegido la temperatura del aire a la salida, se calcula el diámetro,  $D$ , del secador por medio de un balance calorífico. Conociendo  $D$ ,  $t_2$ ,  $t_1$ , ( $G$  y  $C_p$ ), la longitud del secador, cuando se halla por medio de las ecuaciones (4) y (5), deberá ser tal que  $L/D$  esté comprendido entre 4 y 10. Si no lo está deberá elegirse otro valor de  $N_t$  que dé una relación  $L/D$  comprendida entre esos límites.

En los hornos rotativos, el material no es esparcido por la corriente de aire, sino que es retenido en la parte inferior del cilindro y es mezclada por la rotación de éste. Por consiguiente, la superficie efectiva de transmisión de calor es función de la superficie interior del horno. Para los hornos, se recomienda la siguiente ecuación semiempírica para valuar el coeficiente volumétrico de transmisión del calor:

$$U_a = \frac{0.28 G^{0.46}}{D} \quad \text{Ec. (6)}$$

Ni la ecuación anterior ni las anteriores dadas para los secadores rotativos tienen en cuenta el efecto de la radiación a temperaturas elevadas cuando el secador o el horno se calienta a fuego directo. Las capacidades serán algo mayores en este caso.

La transmisión de calor en los secadores rotativos directos-indirectos es compleja, teniendo lugar por una combinación de conducción, radiación y convección. Un secador rotativo Directo-Indirecto de dos cilindros proporciona aproximadamente 35 por ciento más de transmisión de calor total

que un secador rotativo directo de un solo cilindro de la misma capacidad volumétrica trabajando a temperaturas análogas.

Los secadores y los hornos rotativos trabajan por lo general con 3 a 12 por ciento de su volumen lleno de material. En esas condiciones puede lograrse que el secador retenga el material el tiempo suficiente para eliminar la humedad interna. Si la cantidad de material retenido en un secador no es suficientemente grande, el tiempo que pasa el material por el secador quizá sea demasiado corto para alcanzar el grado deseado de la eliminación de la humedad interna, y su capacidad será menor que la que predicen las ecuaciones anteriores.

El funcionamiento de un secador con poco material retenido en su interior será muy desigual.

El tiempo que permanecerá el material en los hornos rotativos (por medio del cual puede calcularse la cantidad de material retenido) puede predecirse por medio de la siguiente fórmula, basada en los estudios realizados por Sullivan, Major y Ralston:

$$\theta = \frac{0.19L}{N D S} \quad \text{Ec. (7)}$$

en la cual  $\theta$  = tiempo que permanece el material en el horno, min.;  $L$  = longitud del horno, m;  $N$  = velocidad de rotación, r.p.m. y  $S$  = inclinación del horno, m/m. (Bayar (1945) ha presentado en forma nomográfica otras ecuaciones para calcular el tiempo de paso de material por el horno, cuando se utilizan represas en el mismo, y el de la descarga.

El tiempo de paso se define por la cantidad de material retenido dividida por la velocidad de alimentación. Pueden medirse indirectamente en los secadores rotativos si se miden directamente el material retenido y la velocidad de alimentación; pero la cantidad de material retenido no siempre puede medirse cómodamente en los grandes secadores de fábricas, a menos que se presente un período de paro en el cual pueda descargarse el secador y pesar directamente su contenido. Se aplican algunos métodos directos, uno de los cuales consiste en añadir medio o un kilogramo de un sólido inerte al material alimentado y pueda descubrirse fácilmente en él, y analizar su presencia en el producto descargado. El tiempo necesario para que se produzca la concentración máxima representa el tiempo medio de paso. Este método exige tomar muestras continuas y hacer los análisis correspon-

-dientes para averiguar cuando es máxima la concentración y su empleo está limitado a casos en los cuales puede añadirse al producto un material, fácil de descubrir sin temor de contaminarlo.

El tiempo de paso en los secadores rotativos puede producirse por medio de las fórmulas:

$$\theta = \frac{0.23 L}{S N^{0.9} D} \pm 1.97 \frac{\beta L G}{F} \quad \text{Ec. (8)a}$$

$$\beta = 5 (D_p)^{-0.5} \quad \text{Ec. (8b)}$$

en las cuales  $\beta$  = constante que depende del material manejado y definida aproximadamente por la ecuación (8b),  $D_p$  = tamaño de la partícula de peso medio del material manejado, en micrones;  $F$  = velocidad de alimentación al secador, Kg. de material seco / (hr.) ( $m^2$  de sección transversal del secador);  $\theta$  = tiempo de paso, min.; y  $G$  = masa velocidad del aire, Kg./ (hr.) ( $m^2$ ). El signo más se refiere a la circulación a contra corriente y el menos a la paralela.

Las masas velocidad del aire en los secadores rotativos oscilan entre 1000 y 50,000 Kg./ (hr.) ( $m^2$ ). Se acostumbra emplear la velocidad máxima posible del aire sin que se produzca una cantidad de polvo. La cantidad de polvo producida durante la operación es una función compleja del material que se seca, su estado físico, la velocidad del aire empleada, la cantidad de material retenido en el secador, el número de albas, la velocidad de rotación y la construcción de las recámaras en el extremo del secador; solo puede averiguarse por medio de ensayos experimentales. Con los sólidos que pasan por 35 mallas/pulg. se emplea en general y con garantía una velocidad del aire de 5,000 Kg./ (hr.) ( $m^2$ ).

Los secadores rotativos trabajan a velocidades periféricas de 9 a 46 m/min., esto es,  $ND = 7$  a  $11$ ; mientras que para los hornos rotativos,  $ND = 0.2$  a  $1.5$ , siendo  $N$  = revoluciones por minuto y  $D$  = diámetro, m.

La inclinación de los cilindros de los secadores rotativos varían entre 0 y 0.08 m/m. La inclinación suele regularse para dar una retención del material de 3 a 13 por ciento, después de fijar el diámetro, la longitud y la velocidad de rotación por medio de las ecuaciones anteriores. En algunos casos de funcionamiento con circulación paralela se emplean inclinaciones negativas.

La altura radial de las aletas de un secador directo de un solo cilindro oscilará entre  $1/2$  y  $1/8$  de diámetro del secador. El número de aletas variará entre  $6.5 D$  y  $11.5 D$  para los secadores de diámetro superior a 60 cms. y deben diseñarse de modo que arrastren y esparzan todo el material retenido y reduzcan al mínimo la tendencia del material a rodar simplemente sobre el fondo del secador sin esparcirse, como en un horno.

Las temperaturas del aire a la entrada oscilarán entre  $38^{\circ}$  y  $180^{\circ}\text{C}$ . para los secadores que emplean calor producido por vapor. Con gases de combustión, los materiales de combustión limitan la temperatura del aire a la entrada. Para las construcciones normalizadas de acero, pueden emplearse temperaturas tan altas como  $760^{\circ}\text{C}$ . en los secadores directos rotativos y como  $650^{\circ}\text{C}$ . en los secadores Directos-Indirectos. Los hornos con revestimiento interior refractario trabajan con temperaturas del aire a la entrada de hasta  $1650^{\circ}\text{C}$ .

#### V.- CLASIFICACION DE SECADORES ROTATORIOS.

Los Secadores Rotatorios se clasifican en: Directos, Directos-Indirectos, Indirectos y de tipos especiales, tales como el Secador Perkins y el Roto-louvre. Como el objeto del presente trabajo es la construcción y operación de un secador Rotatorio Directo-Indirecto, solo se discutirá en los capítulos siguientes lo que concierne exclusivamente a ellos, ya que los secadores de tipo especial que se mencionan anteriormente se estudian como secadores continuos con circulación atravesadora, tema que no se tratará en el presente trabajo.

El aparato construido para este estudio está acondicionado en tal forma para que trabaje como secador directo, como Secador Indirecto, o como Secador Directo-Indirecto, independientemente.

#### VI.- CONSTRUCCION DETALLADA DE UN SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el aparato construido para este trabajo fué acondicionado para que opere en tres formas distintas e independientes. Esto ha sido posible gracias a ciertos aditamentos que lo hacen capaz de efectuar la operación de tres aparatos distintos, en uno solo.

En la estructura del aparato podemos distinguir las siguientes partes por orden de ubicación:

- 1.- Cámara de Combustión.
- 2.- Tolva donde se colecta el alimento seco en partículas gruesas.
- 3.- Tunnel Secador.
- 4.- Alimentador
- 5.- Ductos.
- 6.- Separador de Polvo tipo Ciclón, donde se colecta el alimento seco en partículas finas.

Las primeras cuatro partes están montadas y unidas convenientemente sobre una estructura hecha de canal de acero.

Los ductos para la conducción de los gases calientes unen al conjunto anterior con el separador de polvo tipo Ciclón, montado separadamente en su propia estructura hecha de ángulo de acero.

La Cámara de Combustión consta de un cilindro de acero que se encuentra tapado por uno de sus lados, en cuya tapa se localizan tres orificios, en el de enmedio está situado el quemador de gas natural de tipo de chorro equipado con su entrada de aire regulable para obtener una combustión correcta, y los orificios laterales sirven de entradas de aire que pueden ser abiertas o cerradas por medio de obturadores circulares para ayudar a que en la Cámara de Combustión penetre la cantidad de aire correcta.

La Cámara de Combustión está dotada de un aislante térmico que consta de una capa de cemento refractario y de un cilindro interior de acero abierto por ambos lados y que sirve de una protección extra para el refractario.

En la parte superior de la Cámara de Combustión y precisamente en la salida de los gases calientes de ella, se encuentra un orificio que atraviesa los dos cilindros y la capa de refractario y que sirve para la colocación de un termopar de Hierro-Constantano para la determinación de la temperatura de los gases que habrán de efectuar la operación de secado en el tunnel rotatorio.

La Tolva donde se colecta el alimento en partículas gruesas, está construida de lámina de acero, teniendo forma casi rectangular, estando provista en la parte superior de una abertura de 15 centímetros para la conexión de un ducto y en la parte inferior, que es en donde está propiamente la forma de tolva, de una descarga controlada por medio de una compuerta de acero que se desliza en un marco hecho de canal del mismo mate-

rial. En las partes laterales de la tolva se encuentran dos aberturas, una por cada lado y que sirven para la unión de la Cámara de Combustión por un lado y del tunel rotatorio por el otro. A través de estas dos aberturas pasa un cilindro de acero que sirve para la conducción de los gases calientes que provienen de la cámara de combustión, directamente al cono interior del tunel rotatorio, cuando el aparato trabaja como Secador Indirecto-Directo, o cuando trabaja como Secador Indirecto solamente. (Ver figuras Nos. 3 y 2 del Diagrama de Flujo). Dicho cilindro está provisto de una compuerta accionada por una manivela que efectua la obturación, cuando se desee que el aparato trabaje unicamente como secador directo. En este caso, como el mencionado cilindro conductor de gases calientes es de menor diámetro que el cilindro interior de la Cámara de Combustión, los gases calientes al encontrar cerrado el paso por medio de la compuerta, no entrarán al cilindro conductor que está soldado con el cono interior del tunel rotatorio, sino que viajarán por el exterior para entrar en el espacio anular formado por el cilindro exterior y el cono interior del mencionado tunel, efectuando calefacción directa a contra-corriente al material que pasa precisamente entre dicho espacio.

Además, la tolva está prevista también de una ventanilla con tapa de acero deslizante de arriba hacia abajo, la cual dá oportunidad de accionar la compuerta del cilindro conductor y la compuerta anular que está colocada justamente para cerrar el espacio que hay entre el cilindro interior de la Cámara de Combustión y el cilindro conductor de gases calientes, cuando la función del secador sea para Secado Indirecto-Directo, o sea para Secado Indirecto solamente. Esta compuerta anular está constituida por dos secciones de media luna que se unen entre sí por medio de pernos y tuercas.

La ventanilla aludida sirve ocasionalmente para efectuar labores de limpieza o inspección ocular del proceso en el interior de la tolva, así como para efectuar muestreos del alimento ya seco.

El tunel rotatorio es la parte principal del aparato, ya que es donde se efectúa el secado del material. Consta de un cilindro exterior de acero y un cono interior del mismo material. El tunel está provisto de dos llantas de fierro vaciado soldadas al cilindro exterior y colocadas en tal forma de equilibrar perfectamente el peso de dicho tunel, logrando que la carga esté esparcida y evitando esfuerzos concentrados. Estas llantas de

fierro vaciado se deslizan cada una de ellas sobre un par de rodillos de acero que se encuentran sujetos a la estructura del aparato. También se localiza, unida con tornillos a un anillo de ángulo, el cual a su vez está soldado al tunel, una corona de cien dientes la cual en combinación con un engrane de 33 dientes sirven, junto con el reductor No. 1 (123:1), como dispositivo de transmisión de la fuerza proporcionada por el motor No. 1, de 1/3 H.P., que trabaja a 1,725 R.P.M. Entre el cono interior y el cilindro exterior se encuentran una gran cantidad de aspas deflectoras que se hallan paralelas al eje del secador, soldadas a las paredes, exterior del cono interior, e interior del cilindro exterior. Además en la entrada del secador hay 8 acarreadores de material de 1/8 de vuelta, que son los que introducen el mismo dentro de las aspas. Estas aspas se encuentran así colocadas con el objeto de que impartan un movimiento de cascada al material húmedo al hacer la rotación del tunel secador. También en la misma entrada del alimento existe un anillo que no permite el retroceso del mismo al alimentador. En esta forma, el material que viaja por el espacio anular existente entre los dos cilindros, expone la máxima superficie a los gases calientes que provienen a contra-corriente o en flujo paralelo, de la Cámara de Combustión. Para efectuar un sello perfecto entre el cilindro secador rotatorio y la tolva donde se recoja el material seco, se construyó un dispositivo especial que consta de 3 anillos colocados en la siguiente forma: Un anillo construido de pasta de asbestos se encuentra remachado al anillo No. 2 que es de acero, para formar un solo cuerpo; estos dos anillos efectúan el sello al encontrarse presionados por una serie de resortes que topan en el tercer anillo de acero que está situado a 0.075 mts. de la pared de la tolva y soldado en el cilindro exterior del tunel rotatorio. En esta forma, mediante los citados resortes que se controlan como opresores, el anillo de asbestos se mantiene a presión irando sobre la pared de la tolva para efectuar el sello requerido. John H. Perry, Manual del Ingeniero Químico, Tomo I, 1958, en Español, Trad. de la 3a. Edición del Chemical Engineers' Handbook, Sección 13, Pág. 1290, Fig. 31a.

Para permitir que el material húmedo que viaja a través del tunel rotatorio por el espacio anular existente entre el cilindro y el cono, pueda trasladarse hasta su destino, o sea la tolva recolectora de material - -

grueso, es necesario que exista una inclinación ligera del túnel rotatorio la cual facilite dicho traslado. Esto se logra en dos formas:

1.- La estructura en la que se encuentra apoyado todo el equipo, tiene una inclinación de 0.0386 cm./mt.

2.- Los roles que sostiene al túnel secador por medio de las dos llantas de fierro vaciado de que dispone, pueden cambiarse de posición en el eje perpendicular al eje del túnel rotatorio, por medio de opresores rosca dos, y al hacerlo, dichos roles harán subir o bajar el túnel dándole así - la inclinación que se requiere.

El alimentador está construido de lámina de acero y tiene la forma de un cilindro al cual se le ha hecho un corte para que la mitad de dicho cilindro quede en forma de media luna. En la parte inferior del alimentador, está situado un gusano transportador que es operado por medio de un grupo motor (No.2)-reductor (No. 2), y un juego de poleas. El motor es de 1/6hp y trabaja a 1,750 R.P.M. y el reductor tiene unarazón de 123 a 1. El juego de poleas de que dispone el equipo de alimentación, tiene como finalidad capacitar al gusano alimentador para trabajar a diferentes velocidades de alimentación conforme la relación de poleas que estén operando. Este sistema de alimentación de velocidad variable es muy útil en combinación con la variación de la inclinación relativa del túnel rotatorio cuando los tiempos de retención de partículas quieren variarse. El extremo abierto del alimentador desemboca en el túnel secador para lo cual se encuentra - colocado junto a él por medio de 2 soportes en forma de media luna que lo sostienen, los cuales se encuentran empernados a la estructura del aparato. El alimentador recibe la carga por su extremo abierto, la pasa por un pequeño túnel situado bajo su extremo cerrado y la conduce, todo éste mediante el gusano transportador, hasta la entrada del túnel secador. Unido a la parte cerrada del alimentador, por medio de un flanch, se encuentra un ducto que desemboca en el separador Ciclón.

Los ductos (Nos. 1 y 2) que unen el grupo secador con el aparato separador de polvo, están contruidos de lámina galvanizada. A través de ellos y por medio del extractor, circulan los gases calientes que provienen, ya sea de la parte superior de la tolva, o de la parte superior del alimentador, dependiendo del sistema de operación del aparato. En los extremos inferiores de los dos ductos, tanto en el de la tolva como en el -

del alimentador, se encuentran dos compuertas accionadas por manivelas exteriores que se utilizan para obturar el ducto correspondiente al así exigirlo el sistema de operación. Los ductos individuales son circulares. Para entrar al separador Ciclón, dichos ductos se unen en uno solo de forma rectangular, el cual descarga los gases calientes y partículas de polvo en dicho separador. Para conocer la temperatura de entrada de los gases al Ciclón, hay un orificio en la parte rectangular de los ductos, y precisamente a la entrada del separador en el cuál se coloca un termómetro de mercurio.

El separador de polvo tipo Ciclón, sirve, tal y como su nombre lo indica, para separar y recoger las partículas finas de polvo de los gases calientes que saldrán a la atmósfera. El objeto de este paso, aparte de la recolección del material fino, es el de evitar que el medio ambiente donde se encuentra el aparato se contamine con partículas de polvo las cuales constituyen una molestia y un peligro para los operadores del aparato y demás personas que se encuentren en los alrededores, aparte de causar trastornos y perjuicios de diversa índole en otros aparatos y equipos.

El cuerpo del separador está construido de lámina de acero de dos calibres diferentes, siendo la tolva inferior del aparato la que está hecha de lámina de acero de calibre más delgado. Este cuerpo está montado sobre una estructura hecha de ángulo de acero, debidamente reforzada. En un lado del cuerpo del Ciclón y situado en una plataforma al nivel de la parte superior de la estructura y soldada a la misma, se encuentra el extractor accionado por un motor de 3 H.P. a 3,500 R.P.M., el cual efectúa la circulación forzada a través de todo el grupo secador y del separador del polvo. La entrada del extractor está unida a la salida del separador de polvo por medio de un ducto de lámina de acero. La salida del extractor es a la atmósfera y precisamente en esta salida se colocan dos termómetros de mercurio que nos dan las lecturas de temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco respectivamente de los gases de salida. El interior del separador está construido en tal forma (ver plano adjunto) que las partículas de polvo se precipitan a la parte inferior del aparato impulsadas por la misma corriente de los gases, que debido a la ruta que siguen en el interior del aparato, se asemejan a las corrientes de aire de un ciclón, debiendo a ello su nombre. En la tolva inferior, que se encuentra cerrada desde -

al principio de la operación, para que funcione el separador de polvos correctamente, se acumulan los polvos finos, los cuales al final de la operación y por medio de la compuerta de esta tolva situada en su extremo inferior, son retirados para su observación y uso que se les destino.

Este separador de polvo tipo Ciclón tiene una capacidad media de 43.30  $\text{m}^3/\text{min.}$  de aire y gases calientes. Su diseño y construcción corresponden exactamente a los separadores Ciclón industriales más pequeños fabricados por conocida firma que se dedica en los Estados Unidos de Norte América a la producción de dichos equipos.

#### VII.- OPERACION DEL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL.

Como en capítulos anteriores había quedado entendido, el aparato secador rotatorio objeto de este trabajo, está construido en tal forma que pueda funcionar de tres formas distintas e independientes, a saber: Secado Directo, Secado Indirecto, Secado Indirecto-Directo. (Ver diagramas de flujo, Figs. 1, 2 y 3).

En toda operación de este aparato deben seguirse los siguientes pasos preliminares:

- 1.- Revisión minuciosa de todas las partes mecánicas del aparato, que incluye limpieza absoluta de posibles residuos de material extraño al que va a ser secado, y engrasado completo de todas las partes que lo requieran, tal como chumaceras, baleros, engranes, cajas de reducción y motores.
- 2.- Inspección del suministro de energía eléctrica en los interruptores de la misma que sirven al aparato.
- 3.- Inspección del suministro de gas natural al quemador de tipo chorro que se encuentra en la Cámara de Combustión, así como también averiguar si las entradas de aire son suficientes para asegurar la combustión completa requerida en la operación del aparato.
- 4.- Inspección del tiro efectuado por medio del extractor a través de todo el aparato y revisión detenida de los sollos para eliminar posibles fugas que mermarían la eficiencia térmica del aparato.
- 5.- Revisión de las partes restantes del aparato, tales como: Túnel rotatorio, sistema de alimentación y separador de polvo tipo Ciclón, para asegurarse de su normal funcionamiento.

Después de haber llevado a cabo todas estas labores, el aparato secador se encuentra en condiciones de uso inmediato al momento que se desee.

Para preparar el alimento que requiere el secado se siguen los siguientes pasos:

- 1.- Determinar su naturaleza y sus grados de finura.
- 2.- Asegurarse de que su contenido de humedad es uniforme en el volumen completo de material, que de no haberlo, pasar el material por una revoladora de medios mecánicos o manuales.
- 3.- Determinar la humedad del alimento.
- 4.- Determinar la temperatura del material.
- 5.- Determinar la temperatura ambiente en bulbo húmedo y bulbo seco para poder averiguar la humedad del aire.

Para principiar la operación de secado teniendo ya el equipo disponible y el material de alimento debidamente preparado, se encenderá el quemador de gas natural, regulando las cantidades de gas y de aire de tal modo que la combustión sea completa y que la llama alcance una longitud que no sobrepase el termopar que se encuentra instalado en el extremo de la cámara de combustión y precisamente a la entrada de los gases calientes al túnel rotatorio. Se pone a funcionar el extractor, el alimentador, y el túnel rotatorio, para asegurarse de que el flujo de gases calientes es permanente. Se mantiene el equipo en estas condiciones por espacio de 15 minutos y se consulta el potenciómetro que marca indirectamente la temperatura registrada por el termopar, si es la requerida para la operación que va a efectuarse, las válvulas de gas y de aire se quedan como están, sino lo es, se gradúan ambas para que la temperatura de entrada de los gases calientes esté al nivel que sea necesario.

En este momento se registran las temperaturas de bulbos húmedo y seco ambientes, las temperaturas de bulbos húmedo y seco de los gases a la salida del extractor a la atmósfera, la temperatura de los gases calientes en los ductos, la temperatura y la humedad del material listo para cargarse, la temperatura en la entrada del túnel rotatorio de los gases calientes y la hora exacta del momento en que entra la primer cantidad de alimento al túnel rotatorio por medio del gusano del alimentador.

Ha principiado la operación y el material húmedo se encuentra viajando a través del túnel rotatorio cargado continuamente por el gusano alimentador.

tador, y recibiendo la calefacción de los gases calientes que viajan a -  
contra-corriente o en flujo paralelo ya sea, por el espacio anular que hay  
entre el tubo y el cono del túnel, por el espacio del cono interior sin to-  
car el alimento o por ambos espacios a la vez según sea el caso.

De aquí en adelante, es absolutamente necesario e imprescindible que  
la operación sea continua en todos sus aspectos, o sea, flujo permanente  
y uniforme de gases calientes y flujo semejante de alimento. Se tendrá -  
cuidado en que el quemador no vaya a apagarse subitamente y que el alimen-  
tador disponga en toda la operación de material suficiente para alimentar  
el túnel rotatorio.

A partir del momento en que se principia la operación y hasta que ella  
termine, se procurará registrar en intervalos convenientes los datos si--  
guientes: Temperatura de bulbo húmedo y seco de los gases a la salida del  
extractor, temperatura de los gases en los ductos y temperatura de los ga-  
ses calientes a la entrada del túnel rotatorio.

Se registra la hora en que el alimentador termina de cargar y después  
la hora en que la última cantidad de alimento deja el túnel rotatorio y se  
para todo el aparato, apagándose inclusive la cámara de combustión. Se re-  
gistra en este momento y por última vez todas las temperaturas antes men-  
cionadas. Se abre la salida de la tolva inferior del separador de polvo  
y se recoge el material fino allí acumulado, registrándose su temperatura  
y humedad. Lo mismo se hace en la tolva de recolección del material grueso,  
registrándose a la vez su temperatura y humedad. Con esta última eta-  
pa se da por terminada la operación restando solamente hacer los cálculos  
que proceden para conocer la eficiencia térmica del equipo a partir de los  
datos conocidos en la práctica experimental. Un cálculo interesante que -  
puede hacerse, es el del tiempo de retención de las partículas en el inte-  
rior del túnel rotatorio, tomando como base la hora de carga, la hora en -  
que paró el aparato y la inclinación relativa del túnel rotatorio.

En los tres sistemas de operación del equipo y para las prácticas ex-  
perimentales hechas para este trabajo, permanecen constantes: El funciona-  
miento de la cámara de combustión, el funcionamiento del túnel rotatorio,  
el funcionamiento del sistema de alimentación, el funcionamiento del sepa-  
rador Ciclón y el funcionamiento del extractor; variando solamente según -  
sea el caso, el funcionamiento del sistema de ductos que cambiará la conduc

ción del tiro inducido hacia el exterior del aparato.

Como se dejó dicho en el capítulo que corresponde, el aparato en su sistema de ductos, tiene 4 compuertas, tres de ellas para obturar un espacio circular y la restante para hacerlo en un espacio anular. Como también se dijo, estas compuertas sirven para abrir o cerrar el ducto en el que se encuentran, para en esta forma, actuando las cuatro en combinación, hagan posible la versatilidad del aparato. (Ver figs. 1, 2 y 3 del diagrama de Flujo de Gases.)

La compuerta No. 1 de tipo anular, se encuentra ubicada en el extremo de la cámara de combustión que conecta con la tolva recolectora de material grueso, precisamente para cerrar el espacio que queda entre la prolongación del cono interior del túnel rotatorio y el cilindro de acero interior de la cámara de combustión que es de mayor diámetro. Esta compuerta está hecha de dos medias lunas de lámina de acero que se empernan entre sí para formar un solo cuerpo.

La compuerta No. 2 se encuentra situada obturando la prolongación del cono interior del túnel rotatorio, aproximadamente en el centro de la tolva recolectora de gruesos, siendo de tipo circular.

La compuerta No. 3 está ubicada en el ducto que va de la tolva recolectora al Ciclón y es de tipo circular.

La compuerta No. 4 es también de tipo circular y está situada en el ducto que va del alimentador al Ciclón.

Cuando el equipo opera bajo el sistema directo, la compuerta No.1 y la compuerta No. 4 permanecen abiertas mientras que las compuertas Nos.2 y 3 permanecen cerradas.

Cuando el equipo opera bajo el sistema indirecto, las compuertas Nos. 1 y 3 permanecen cerradas durante toda la operación, mientras que las Nos. 2 y 4 permanecen abiertas.

Cuando el equipo funciona bajo el sistema indirecto-directo, las compuertas Nos. 1 y 4 permanecen cerradas durante toda la operación, mientras que las Nos. 2 y 3 permanecen abiertas.

Por lo tanto, cuando el equipo funciona bajo calefacción directa y bajo calefacción indirecta, el flujo de los gases será a contra-corriente con el del alimento, y cuando funcione bajo calefacción indirecta-directa, será primero a contra-corriente y luego paralelo.

**VIII.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRACTICAS EXPERIMENTALES.**

PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No.1

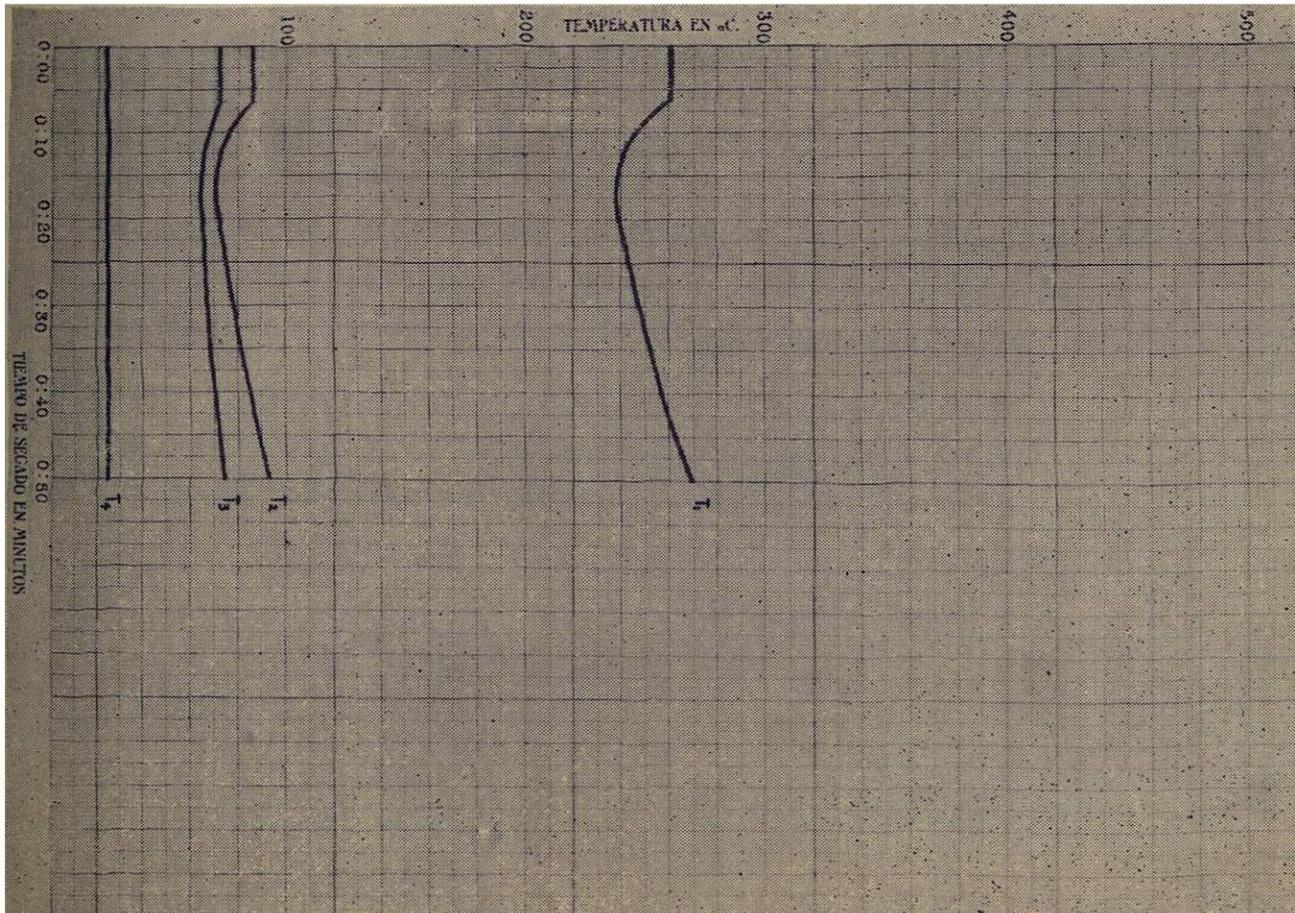
Fecha.....	Febrero 10 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Arena Sílica
Cantidad de Alimento.....	40 Kg.
Cantidad de Material que vá a secarse por hora.....	54.54 Kg./Hr.
Sistema de Calefacción.....	Indirecto-Directo
Inclinación del Secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros Cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	82.75 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	20 °C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	16.5 °C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	18 °C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	35 °C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	65 °C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar - flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	15 Min.
Humedad del aire.....	0.012 gr. vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	6.5gr.agua/100 gr.Alim.seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	3.54 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso.....	2.6 Kg.
Hora de carga.....	0:06
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:35
Hora en que paró todo el aparato.....	0:50

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO (°C)

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	261	86	72	24
0:06	261	86	72	24
0:11	242	74	67	25
0:20	239	73	65	24
0:35	253	84	68	25
0:50	268	92	74	24

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
- T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

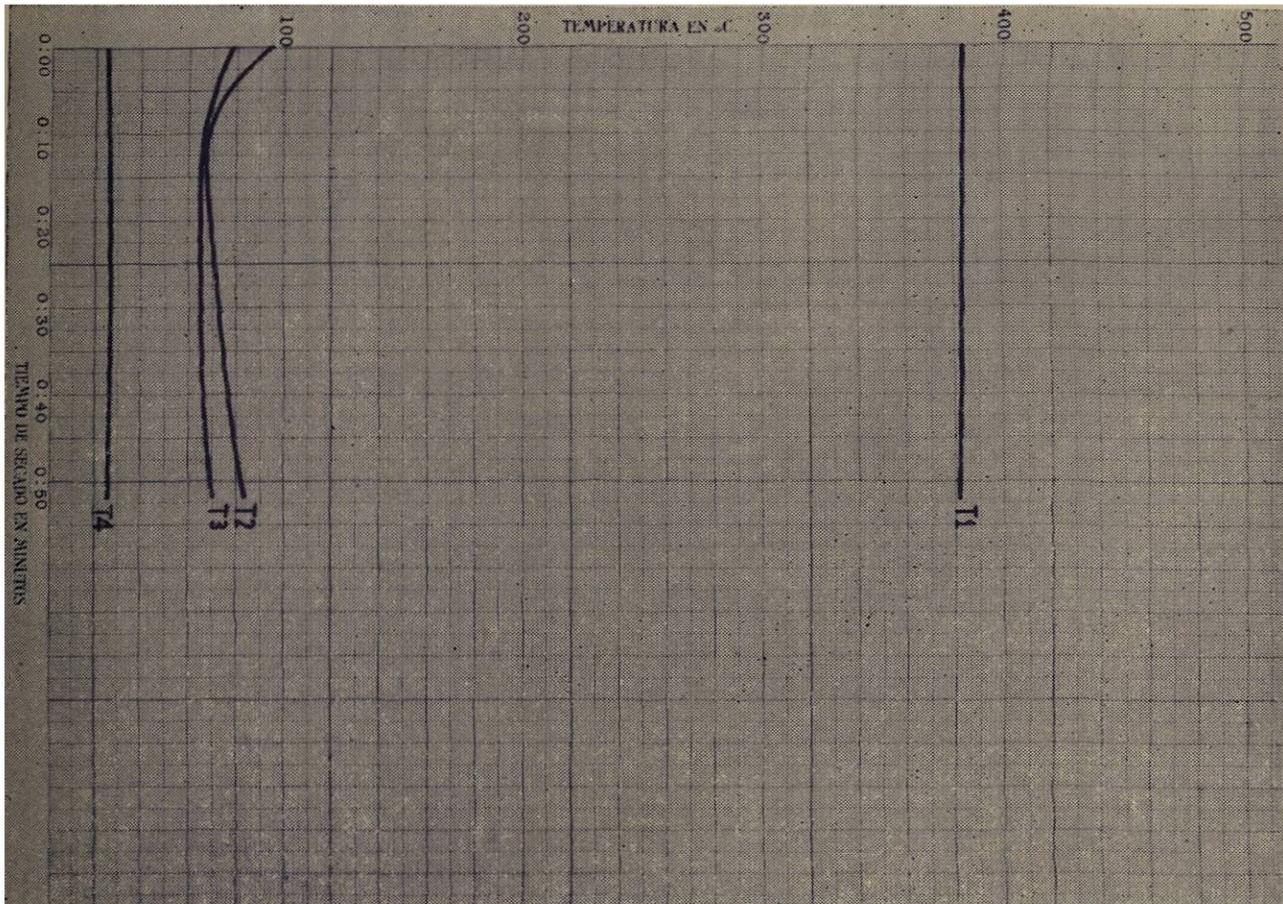
Práctica No. 2

Fecha.....	Febrero 13 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Arena Sílica
Cantidad de alimento.....	40 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	48 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto-Directo
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	160 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	27 °C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	25 °C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	22 °C
Temperatura de salida del alimento....Finos.....	25 °C
Temperatura de salida del alimento....Gruesos.....	55 °C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar - flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	35 Min.
Humedad del aire.....	0.022 gr. vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	18 gr.agua/100 gr. Alim. seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	8.64 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso....	7.2 Kg.
Hora de carga.....	0:02
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:17
Hora en que paró todo el aparato.....	0:52

TABLÁ DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO (°C)

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	383	92	77	25
0:07	385	71	68	26
0:12	384	70	67	26
0:17	384	68	66	27
0:52	382	83	70	26

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
  - T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
  - T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
  - T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)
- GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No. 3

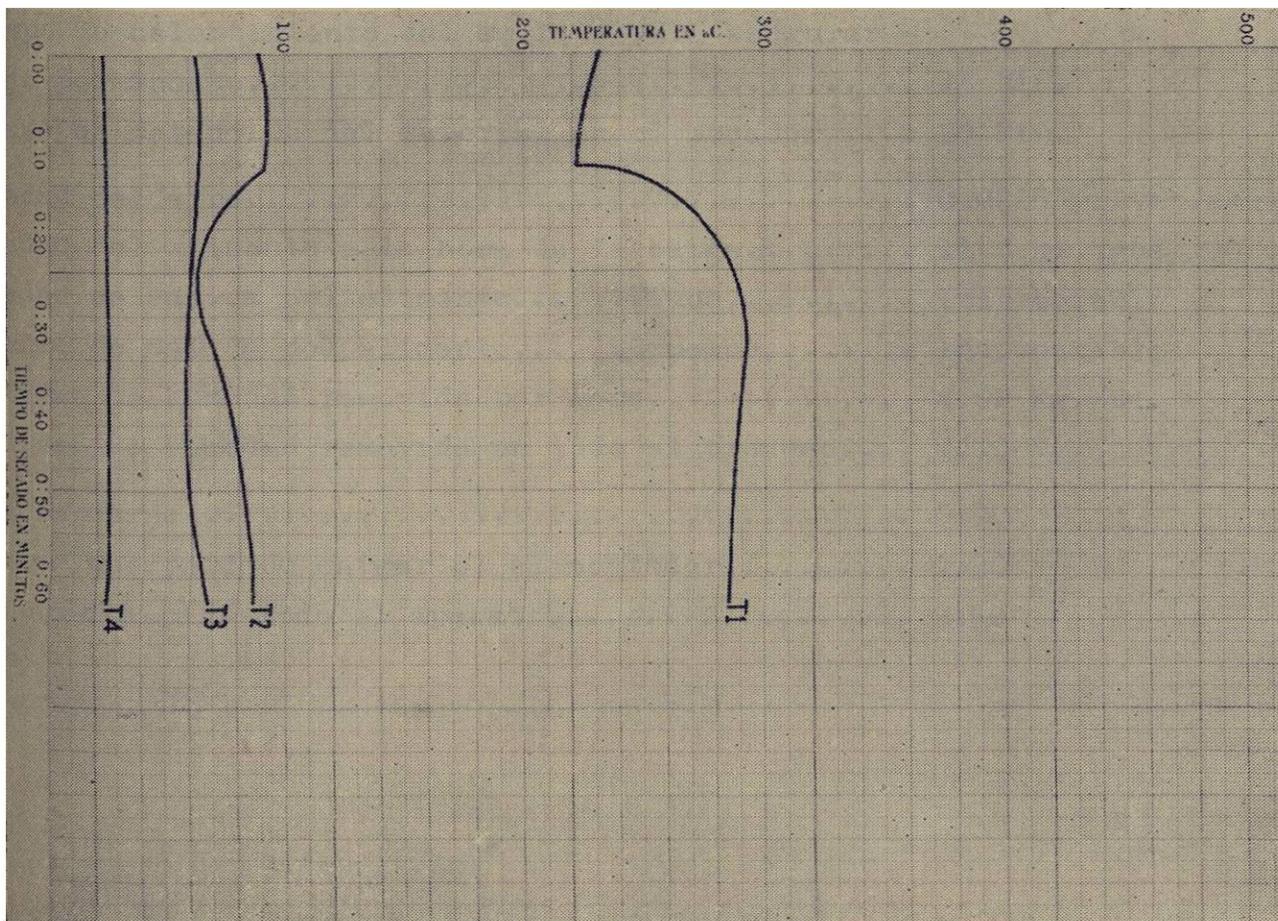
Fecha.....	Febrero 16 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Arena Sílica
Cantidad de alimento.....	40 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	48 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto-Directo
Inclinación del Secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	120 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	22 °C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	21.5 °C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	20 °C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	36 °C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	65 °C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar - flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	30 Min.
Humedad del aire.....	0.018 gr. vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	11.2 gr.agua/100 gr.Alim.seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	5.37 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso.....	4.48 Kg.
Hora de Carga.....	0:13
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:33
Hora en que paró todo el aparato.....	1:03

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO ( $^{\circ}\text{C}$ )

HORAS	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
0:00	230	89	63	24
0:13	222	92	65	25
0:18	271	72	62	25
0:33	293	69	59	26
1:03	285	87	68	25

- $T_1$ ..... Temperatura on la cámara de combustión
- $T_2$ ..... Temperatura en los ductos
- $T_3$ ..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- $T_4$ ..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No.4

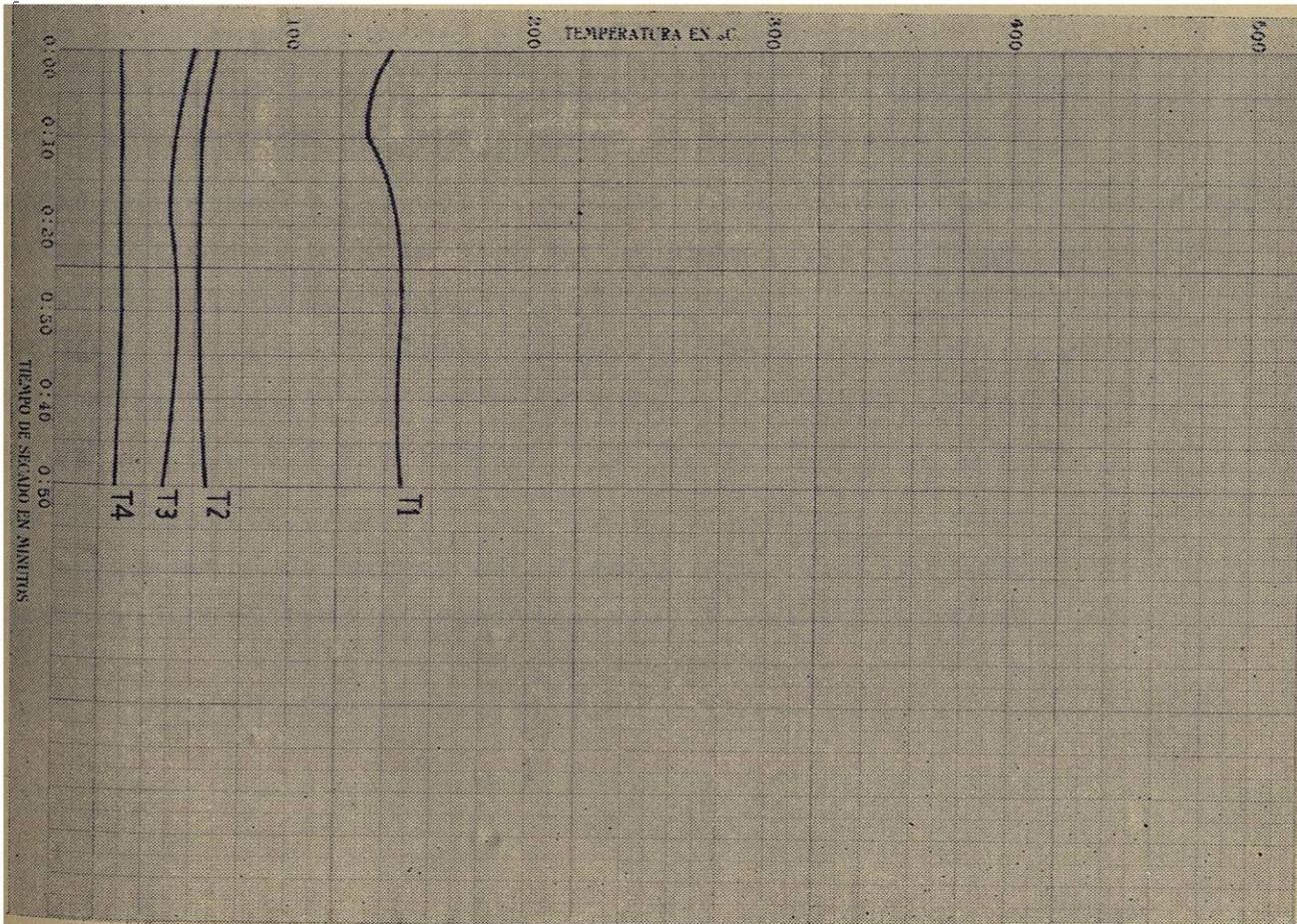
Fecha.....	Junio 9 de 1961
Materia utilizado como alimento.....	Tierra de fundición
Cantidad de alimento.....	36 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	43.20 Kg./hr.
Sistema de calefacción.....	Dirocto
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	72 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	31 °C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	27.5 °C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	30 °C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	39 °C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	83 °C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar - flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	20 Min.
Humedad del aire.....	0.0225 gr.vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	11.4 gr.agua/100 gr.Alim. seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	4.92 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso....	4.10 Kg.
Hora de carga.....	0:00
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:30
Hora en que paró todo el aparato.....	0:50

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO (°C)

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	140	68	58	28
0:10	132	62	53	29
0:20	143	50	50	28
0:30	146	62	53	29
0:50	147	65	58	27

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
- T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor(Bulbo Seco)
- T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor(Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No. 5

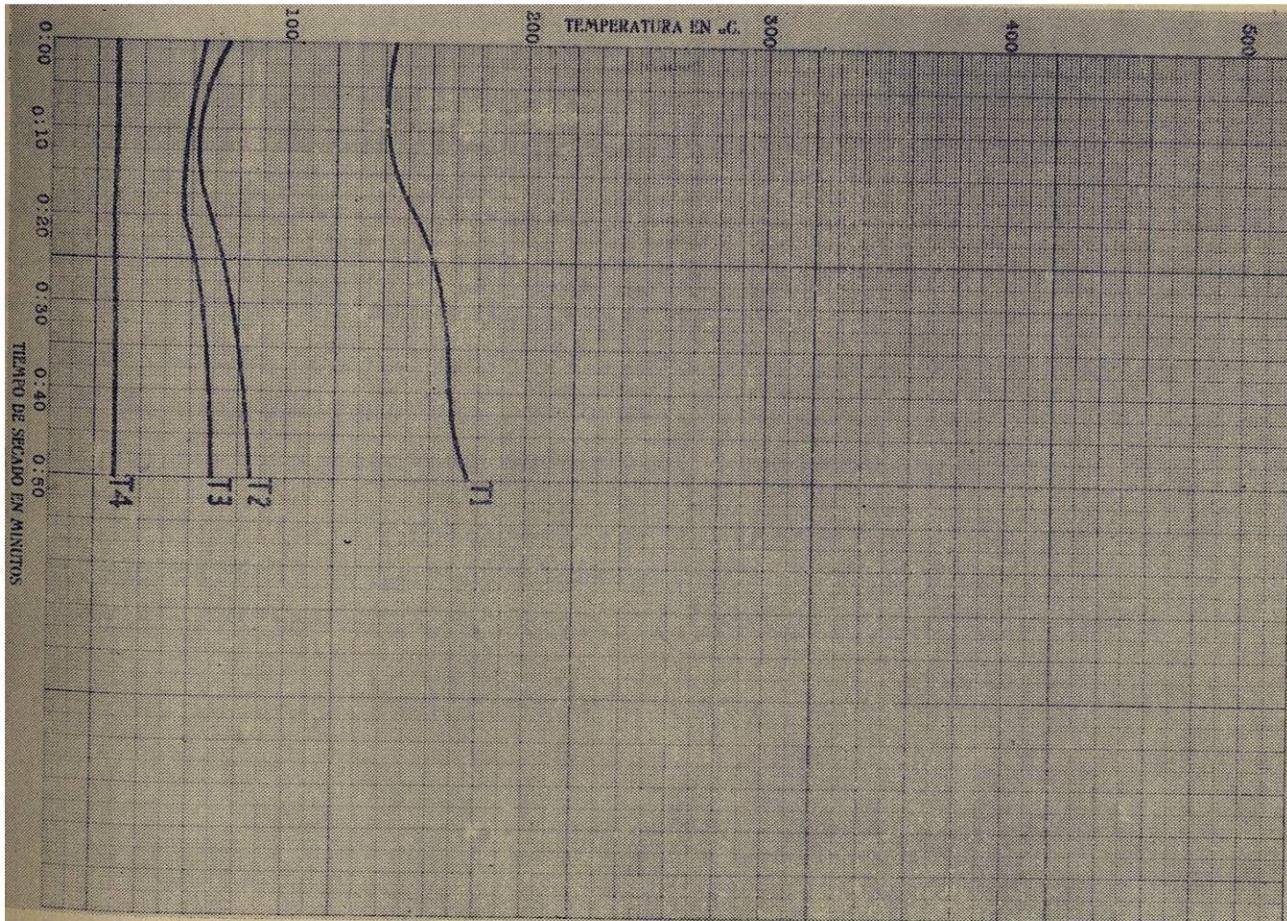
Fecha.....	Junio 9 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Arena Sílica
Cantidad de alimento.....	40 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	48 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	120 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	29 °C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	26.5 °C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	27.5 °C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	46 °C
Temperatura de salida del alimento...Grucosos.....	49 °C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar - flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	30 Min.
Humedad del aire.....	0.023 gr.vap.agua/Gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	8 gr.agua/100 gr alim. seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Grucosos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	3.84 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso....	3.2 Kg.
Hora de carga.....	0:00
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:20
Hora en que paró todo el aparato.....	0:50

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO ( °C )

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	144	74	65	29
0:10	141	63	58	29
0:20	154	68	57	28
0:40	168	83	68	29
0:50	176	86	70	29

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
- T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No. 6

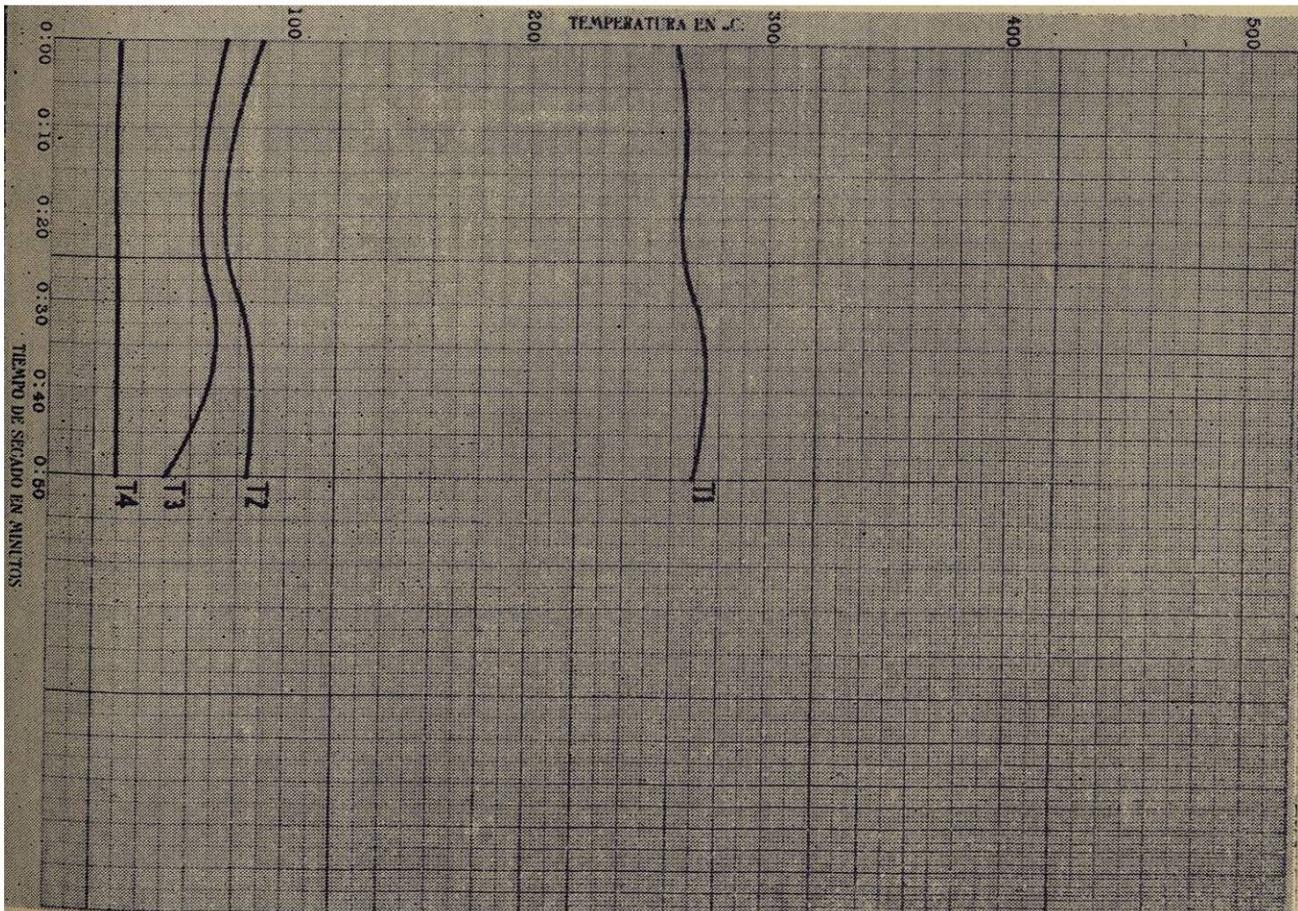
Fecha.....	Junio 12 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Tierra de fundición
Cantidad de alimento.....	36 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora....	45.2 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto-Directo
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	72 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	30°C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	26.5°C
Temperatura del alimento a la hora de la carga....	29°C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	36°C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	71°C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador....	20 Min.
Humedad del aire.....	0.0215 gr.vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	10 gr.agua/100 gr.Alim. seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	4.32 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso...	3.6 Kg.
Hora de carga.....	0:00
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:30
Hora en que paró todo el aparato.....	0:50

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO ( °C )

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	260	87	72	29
0:10	265	77	65	28
0:20	263	75	64	28
0:30	270	80	69	29
0:50	270	84	71	29

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
- T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No. 7

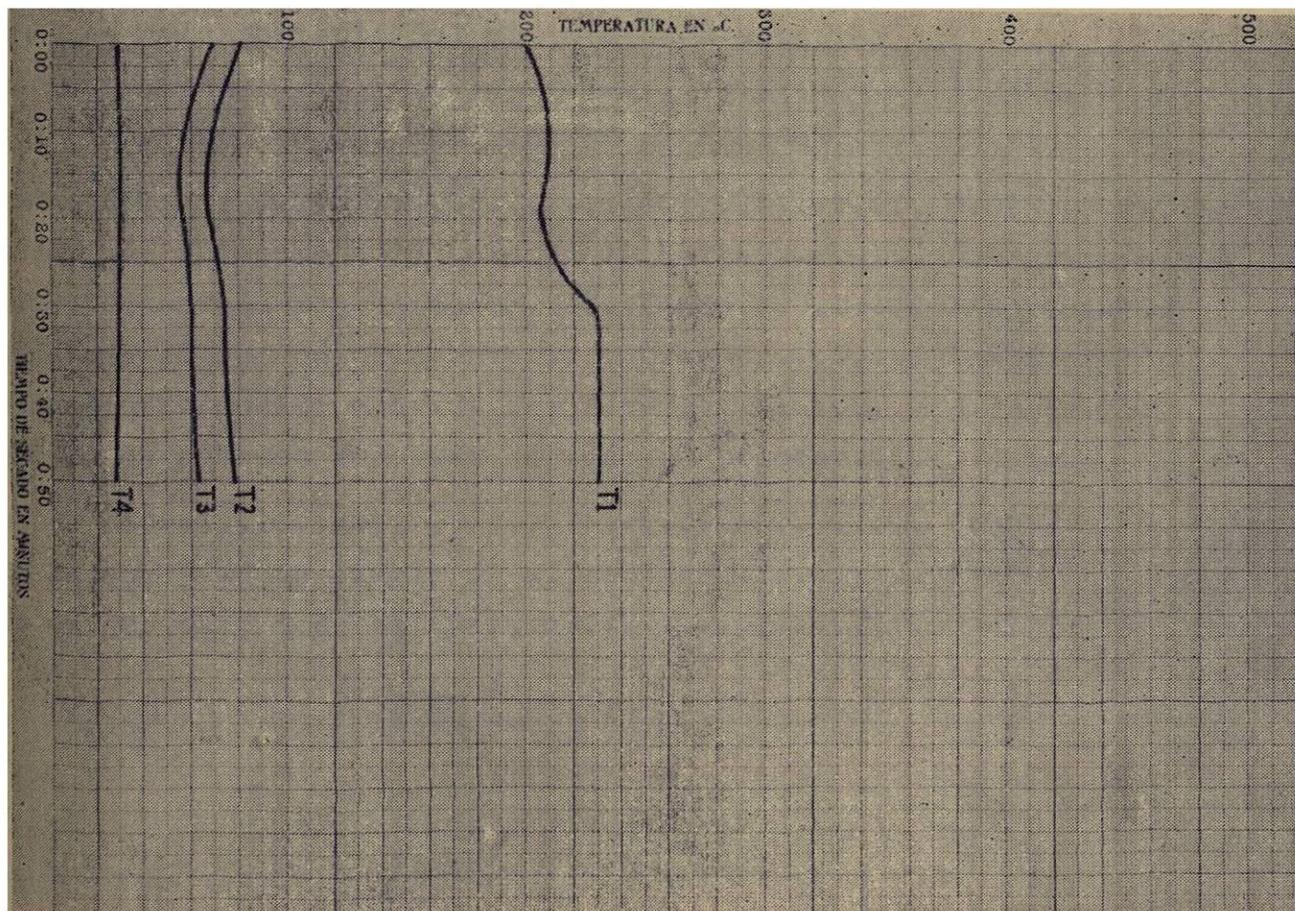
Fecha.....	Junio 13 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Tierra de fundición
Cantidad de alimento.....	36 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	43.20 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	72 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	29°C
Temperatura ambiente..... Bulbo Húmedo.....	27.5°C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	27.5°C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	35°C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	63°C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	20 Min.
Humedad del airo.....	0.024 gr.vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	15 gr.agua/100 gr.Alim.seco
Humedad de salida del alimen <sup>o</sup> .....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	6.48 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso....	5.4 Kg.
Hora de carga.....	0:00
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:30
Hora en que paró todo el aparato.....	0:50

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO (°C)

HORAS	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0:00	200	80	68	29
0:10	210	69	57	30
0:20	205	68	57	30
0:30	215	74	60	30
0:50	215	78	63	29

- T<sub>1</sub>..... Temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub>..... Temperatura en los ductos
- T<sub>3</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- T<sub>4</sub>..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



PRACTICAS EFECTUADAS EN EL SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL

Práctica No. 8

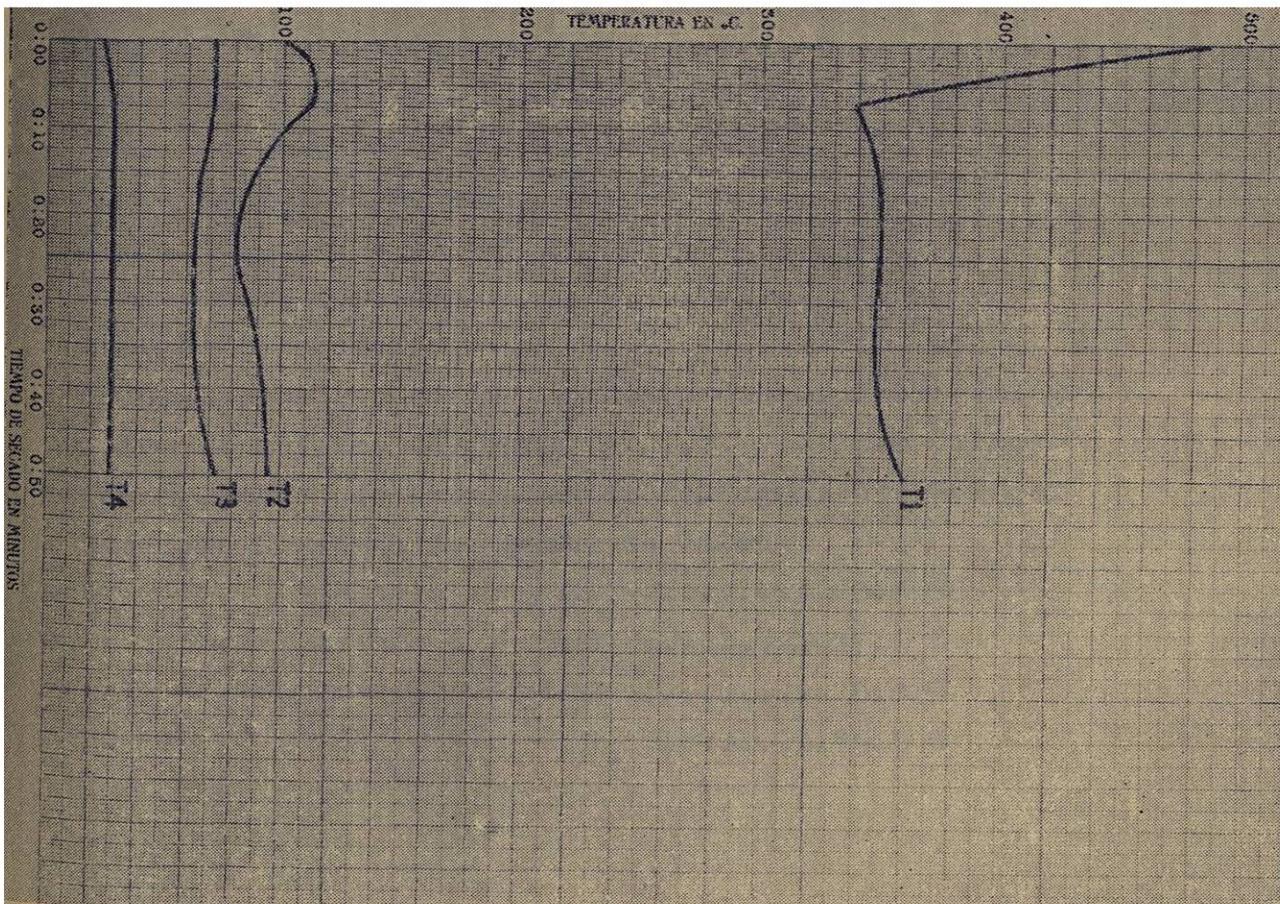
Fecha.....	Septiembre 26 de 1961
Material utilizado como alimento.....	Arena Sílica
Cantidad de alimento.....	50 Kg.
Cantidad de material que vá a secarse por hora.....	63.82 Kg./Hr.
Sistema de calefacción.....	Indirecto-Directo
Inclinación del secador.....	0.0386 cm./mt.
Metros cúbicos de aire y gases calientes que fluyen a través del aparato.....	31.13 mt. <sup>3</sup> /min.
Velocidad de alimentación del material.....	111.11 Kg./Hr.
Velocidad de rotación del túnel secador.....	4.67 R.P.M.
Temperatura ambiente.....Bulbo Seco.....	27°C
Temperatura ambiente.....Bulbo Húmedo.....	24.5°C
Temperatura del alimento a la hora de la carga.....	24°C
Temperatura de salida del alimento...Finos.....	38°C
Temperatura de salida del alimento...Gruesos.....	78°C
Tiempo de calentamiento del aparato para asegurar Flujo permanente.....	15 Min.
Tiempo de retención del material en el secador.....	20 Min.
Humedad del aire.....	0.019 gr.vap.agua/gr.aire seco
Humedad del alimento a la hora de la carga.....	6.8 gr.agua/100 gr.Alim.seco
Humedad de salida del alimento.....Finos.....	Inapreciable
Humedad de salida del alimento.....Gruesos.....	Inapreciable
Cantidad de humedad removida por hora.....	4.34 Kg./Hr.
Cantidad de humedad removida en todo el proceso.....	3.4 Kg.
Hora de carga.....	0:00
Hora en que paró de cargar el alimentador.....	0:27
Hora en que paró todo el aparato.....	0:47

TABLA DEMOSTRATIVA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS TIEMPOS DE OPERACION DEL APARATO ( $^{\circ}\text{C}$ )

HORAS	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
0:00	494	102	71	25
0:07	338	112	71	29
0:17	350	85	65	29
0:27	349	83	64	29
0:47	355	95	69	29

- $T_1$ ..... Temperatura en la cámara de combustión
- $T_2$ ..... Temperatura en los ductos
- $T_3$ ..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Seco)
- $T_4$ ..... Temperatura en la salida del extractor (Bulbo Húmedo)

GRAFICA DE TIEMPOS DE SECADO CONTRA TEMPERATURA



Uno de los problemas más importantes en el secado de sólidos y que puede ser fácilmente resuelto en la operación de este aparato, es el sistema de calefacción que debe usarse para el secado del sólido de que se trata. Por lo tanto, una vez conocida la naturaleza del material y a partir de sus propiedades físicas y químicas, debe hacerse un detenido estudio para determinar la forma de operación del equipo. No hay que olvidar que aunque los sistemas de calefacción directos son muy eficaces, a menudo deben ser evitados ya que provocan la descomposición del material por el contacto directo de los gases calientes.

#### IX.- EFICIENCIA TERMICA DEL SECADOR.

La eficiencia térmica del Secador se determinó con los datos obtenidos en la práctica No.5, por considerar dichos datos como los más útiles, dadas las condiciones en que se operó el aparato en todas las prácticas.

Sistema de Calefacción.....	Indirecta
Material Secado.....	Arena Sílica
Humedad Inicial.....	8 gr.Agua/100gr.Material Seco
Humedad Final.....	0
Cantidad de Material a secarse por hora	48 Kg/h
Temp. de entrada de gases al Secador...	159°C
Temp. de salida de gases del Secador...	75°C
Temp. del mat. a la salida del Sec.....	49°C
Temperatura Ambiente.....	29°C
Presión Barométrica.....	750 mm Hg
Calor Específico de la A. Sílica Seca..	0.191 Cal/gr.°C
Calor Específico del agua.....	1.0 Cal/gr.°C
Calor Latente de Vaporización del agua.	539 Cal/gr.
Análisis Orsat de los gases de Salida	
CO <sub>2</sub> .....	3.0 %
O <sub>2</sub> .....	17.1 %
CO .....	0.0 %
N <sub>2</sub> .....	79.9 %

BALANCE DE CALOR (Base 1 hora de Operación)

Calor Cedido por los Gases = Calor Ganado por el Material +  
Pérdidas de Calor

Gases Húmedos :

Medidas del Ducto de Salida : 9.4 x 12.2 cm., Área = 0.0114 m<sup>2</sup>

Velocidad de los gases registrada por el Velómetro = 9068 pies/min.

Gasto en Volumen, q = A V = 1,867.8 m<sup>3</sup>/h

q = 1,867.8 m<sup>3</sup>/h a 29°C y 750 mm Hg

$$1,867.8 \left( \frac{1}{22.4} \right) \frac{273}{273 + 29} \left( \frac{750}{760} \right) = 74.3 \text{ Kg.mol/h}$$

Agua de Secado :

$$48 (0.08) = 3.84 \text{ Kg.}$$

$$\frac{3.84}{18} = 0.213 \text{ Kgmol de Agua en 40 min. de operación}$$

$$0.213 (1.5) = 0.3195 \text{ Kgmol/h}$$

Agua del Combustible :

BASE : 100 MOLES DE GASES SECOS

	<u>MOLTS</u>	<u>AT. C</u>	<u>MOL'S O<sub>2</sub> REPORTADAS</u>
CO <sub>2</sub>	3.0	3	3
O <sub>2</sub>	17.1		17.1
N <sub>2</sub>	79.9		
			<u>20.1</u>

$$\begin{aligned} \text{Moles de O}_2 \text{ desaparecidas} &= \text{Moles de O}_2 \text{ Totales} - \text{Moles de O}_2 \text{ Report.} \\ &= \frac{79.9}{0.79} (0.21) - 20.1 = 1.24 \end{aligned}$$

$$\text{Moles de Agua} = 1.24 (2) = 2.48$$

	<u>B. Húmeda</u>		<u>Kgmol/h</u>
CO <sub>2</sub>	3.0 2.927	73.98 (0.0292)	2.160
O <sub>2</sub>	17.1 16.686	73.98 (0.1668)	12.340
N <sub>2</sub>	79.9 77.970	73.98 (0.7797)	57.700
H <sub>2</sub> O	2.48 2.420	73.98 (0.0242)	<u>1.780</u>
	<u>102.48</u> 100.000		<u>73.980</u>

$$74.3 - 0.3195 = 73.98 \text{ K mol/h de Gases al Secador}$$

	Kgmol	H <sub>159°C</sub>	H <sub>75°C</sub>	ΔH	n ΔH	Kcal.
CO <sub>2</sub>	2.160	1250	860	390	2.160 (390)	824.40
O <sub>2</sub>	12.340	900	400	500	12.340 (500)	6,170.00
N <sub>2</sub>	57.700	900	400	500	57.700 (500)	28,850.00
H <sub>2</sub> O Comb.	1.780	1100	500	600	1.780 (600)	<u>1,068.00</u>
						36,912.40

BALANCE DE CALOR

$$36,912.4 (1000) = (M_{\text{Arena}} (C_p_{\text{Arena}}) \Delta T_{\text{Arena}} + M_{\text{Agua}} (h_g 75^\circ\text{C} - h_f 29^\circ\text{C}) ) + Q_p$$

$$36,912.4 (1000) = (44160 (0.191)(49 - 29) + 319.5(18)(1134.2 - 52.5) \frac{1}{1.8}) + Q_p$$

$$Q_p = 36,912,400 - 3,628,680 = 33,283,720 \text{ Cal.}$$

$$\% \text{ Ef.} = \frac{\text{Calor Ganado por el Material} (100)}{\text{Calor Alimentado}} = \frac{3,628,680}{36,912,400}$$

$$\% \text{ Ef.} = 9.85$$

$$\% \text{ P\acute{e}rdidas} = \frac{\text{Calor P\acute{e}rdido} (100)}{\text{Calor Alimentado}}$$

$$\% \text{ P\acute{e}rdidas} = \frac{33,283,720 (100)}{36,912,400}$$

$$\% \text{ P\acute{e}rdidas} = 90.15$$

LISTA COMPLETA DE PARTES INTEGRANTES DEL APARATO SECADOR ROTATORIO EQUIPADO CON  
SEPARADOR DE POLVOS TIPO CICLON

<u>No. de Pieza</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Cantidad</u>
<u>Estructuras</u>			
1	Base del Secador	Canal de Acero 7.5 X 3 Cm.	23.40 Mt.
2	Base del Ciclón	Angulo de Acero 5 Cm.	12.00 Mt.
3	Refuerzos Base Secador	Angulo de Acero 3 Cm.	2.15 Mt.
4	Refuerzos Base Ciclón	Angulo de Acero 2.5 Cm.	11.60 Mt.
5	Soportes Cámara de Combustión	Cercha de Acero 4 y 5 Cm.	2.52 Mt.
6	Soportes Alimentador	Cercha de Acero 5 Cm.	2.52 Mt.
7	Soportes Ciclón	Placa de Acero 5 mm.	1.00 Mt. <sup>2</sup>
<u>Medios de Unión</u>			
8	Tornillos	Acero 1/4 X 1/2 Pulg.	8
	Tornillos	Acero 1/4 X 1 Pulg.	54
	Tornillos	Acero 5/16 X 1 Pulg.	21
	Tornillos	Acero 5/16 X 2 1/4 Pulg.	8
	Tornillos	Acero 3/8 X 1 Pulg.	3
	Tornillos	Acero 3/8 X 2 Pulg.	2
	Tornillos	Acero 1/2 X 2 Pulg.	6
	Tornillos Opresores	Acero 5/8 X 4 Pulg.	8
9	Arandelas de Presión	Acero 5/16 Pulg.	2
	Arandelas de Presión	Acero 1/2 Pulg.	4
10	Tuercas	Acero 1/4 Pulg.	62
	Tuercas	Acero 5/16 Pulg.	29
	Tuercas	Acero 3/8 Pulg.	5
	Tuercas	Acero 1/2 Pulg.	6
11	Resortes	Acero	11
12	Empaques Normales	Cartón Prensado	5
13	Empaques Especiales	Balata de Asbesto	1
14	Soldadura	Arco Eléctrico	30 Kg.
<u>Sistema de Ductos</u>			
15	Ducto No. 1	Lámina Galvanizada Cal. 22	2.25 Mt. <sup>2</sup>
16	Ducto No. 2	Lámina Galvanizada Cal. 22	1.56 Mt. <sup>2</sup>
17	Ducto No. 3	Lámina Acero Negra Cal. 16	1.56 Mt. <sup>2</sup>
18	Flanches	Lámina Acero Negra Cal. 16	16
19	Compuerta No. 3	Lámina Acero Negra Cal. 16	0.0225 Mt. <sup>2</sup>
20	Compuerta No. 4	Lámina Acero Negra Cal. 16	0.0225 Mt. <sup>2</sup>
21	Espigas de Compuertas	Acero "Cold Rolled" 3/8 Pulg.	0.80 Mt.

<u>No. de Pieza</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Cantidad</u>
<u>Cámara de Combustión</u>			
22	Tubería de Gas	Fierro Galvanizado 3/4 Pulg.	4 Mt.
23	Válvula	Fierro Galvanizado 3/4 Pulg.	1
24	Codo	Fierro Galvanizado 3/4 Pulg.	1
25	Reducción	Fierro Galvanizado 3/4-1/2 Pulg.	1
26	Reducción	Fierro Galvanizado 1/2-3/8 Pulg.	1
27	Quemador tipo de Chorro	Fierro	1
28	Compuertas	Lámina Acero Negra 3/16	2
29	Cilindro Exterior	Lámina Acero Negra Cal. 12	1.10 Mt. <sup>2</sup>
30	Aislante Térmico	Cemento Refractario	40 Kg.
31	Cilindro Interior	Lámina Acero Negra Cal. 16	0.90 Mt. <sup>2</sup>
32	Termopar	Hierro Constantano	1
<u>Tolva Recolectora de Polvos Gruesos</u>			
33	Tolva	Lámina Acero Negra Cal. 12	4.10 Mt. <sup>2</sup>
34	Compuertas	Lámina Acero Negra Cal. 12	2
<u>Túnel Secador Rotatorio</u>			
35	Cono Interior	Lámina Acero Negra Cal. 16	2.56 Mt. <sup>2</sup>
36	Cilindro Exterior	Tubo Acero Negro 5/16 Pulg.	2.00 Mt. <sup>2</sup>
37	Soportes Inter-Cilindros	Lámina Acero Negra 5 mm.	Indet.
38	Aletas Deflectoras	Lámina Acero Negra 3 mm.	Indet.
39	Compuerta No. 1	Lámina Acero Negra Cal. 12	0.1225 Mt. <sup>2</sup>
40	Compuerta No. 2	Lámina Acero Negra Cal. 16	0.0324 Mt. <sup>2</sup>
41	Llantas	Fierro Vaciado	2
42	Roles	Acero	4
<u>Sistema Motriz del Túnel Secador</u>			
43	Motor No. 1 ( 1/3 H.P. )	Acero y Cobre	1
44	Unión de Flechas	Acero	1
45	Reductor No. 1 ( 123:1 )	Aluminio, Acero y Bronce	1
46	Engrane ( 33 Dientes )	Acero	1
47	Corona ( 100 Dientes )	Acero	1
48	Base Grupo Motriz No. 1	Canal Acero 7.5 X 3 Cm.	1.45 Mt.
<u>Sistema de Alimentación</u>			
49	Recipiente	Lámina Acero Negra Cal. 16	2.9450 Mt. <sup>2</sup>
50	Gusano Alimentador	Acero	1
51	Soporte de Flecha con Chumacera	Acero y Bronce	1

<u>No. de Pieza</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Cantidad</u>
52	Poleas	Aluminio 15,10,7 y 5 Cm.	4
53	Banda	Hule	1
54	Reductor No. 2 ( 123:1 )	Acero	1
55	Motor No. 2 ( 1/6 H.P. )	Acero y Cobre	1
56	Base del Grupo Motriz No. 2	Angulo Acero 3.5 Cm. y Placa Acero Cal. 16 9 X 45 Cm.	1
57	Unión de Flechas	Acero y Cuero	1
<u>Separador de Polvos Finos, Tipo Ciclón</u>			
58	Cuerpo del Separador	Lámina Acero Negra Cal. 16	5 láminas 0.90 x 1.8 Mt.
59	Tolva Recolectora de Finos	Lámina Acero Negra Cal. 18	4.65 Mt. <sup>2</sup>
60	Compuerta	Lámina Acero Negra Cal. 16	0.0225 Mt. <sup>2</sup>
61	Base del Grupo Motor-Extractor	Angulo Acero 4 Cm. Lámina Acero Negra Cal. 12	2.30 Mt. 0.32 Mt. <sup>2</sup>
62	Extractor	Lámina Acero Negra Cal. 16	1
63	Motor ( 3 H.P. )	Acero y Cobre	1

-----o-----

#### NOTAS

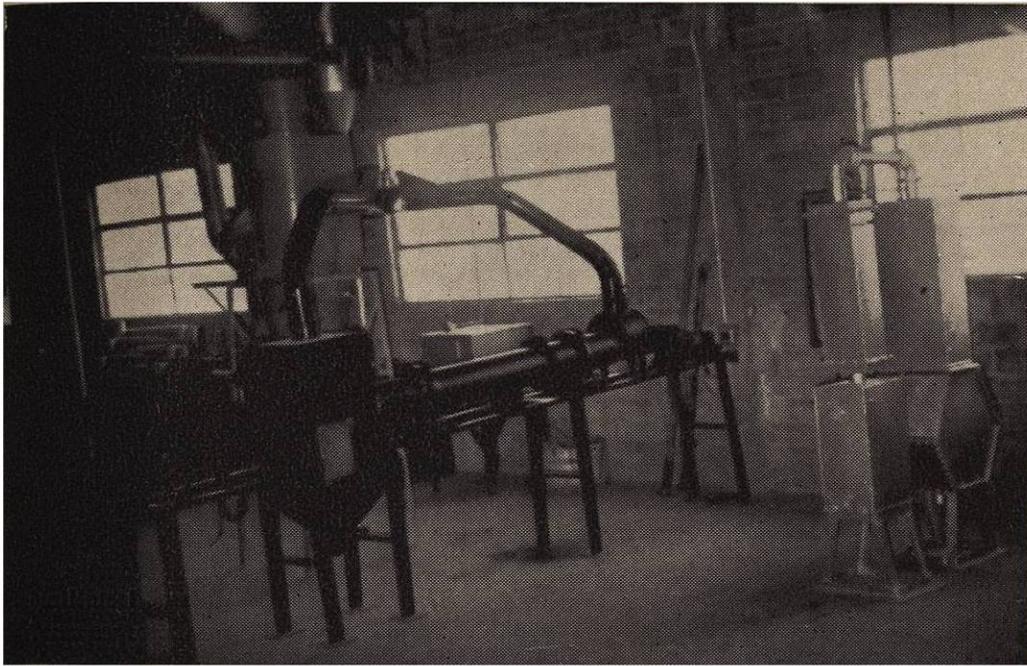
El equipo completo se encuentra protegido con una mano de pintura anticorrosiva, y, con dos manos de pintura de acabado exterior.

En esta lista, la identificación del material, se hace, utilizando los calibres y las medidas más conocidas comercialmente.

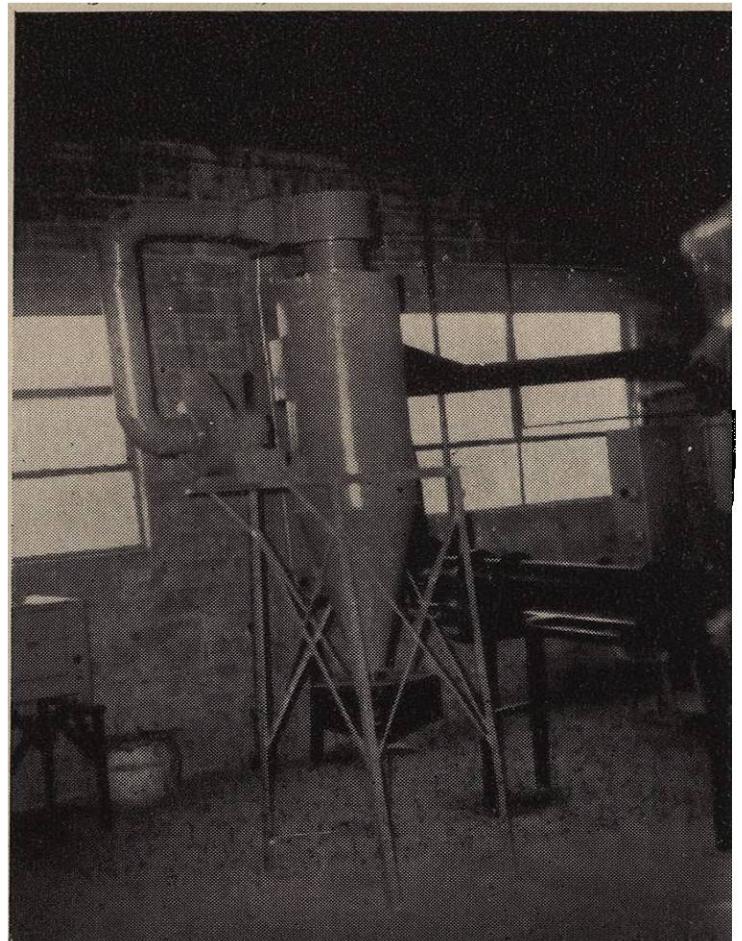
Bajo la columna "Cantidad", cuando los números allí colocados carecen de unidades, indican cantidad de piezas individuales.

El material eléctrico no se encuentra listado porque no aparece tampoco en el plano del aparato, no habiendo por lo tanto, número a que hacer referencia, pero es el siguiente:

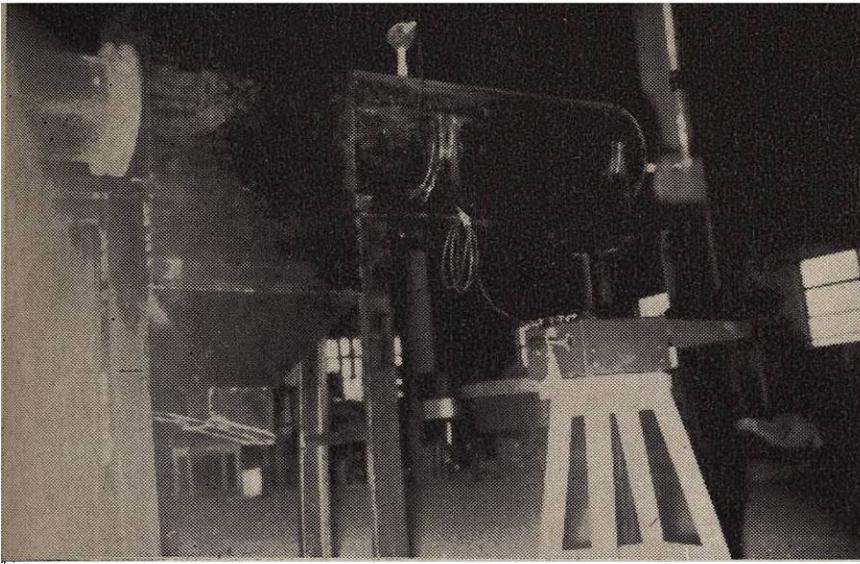
- 1 Switch de 3 polos para 220 Volts ( Motor-Extractor)
- 2 Interruptores de baquelita para 110 Volts (Motor No.1 y No.2 )
- 15 Metros de alambre de cobre con forro de plástico
- 2 Metros de alambre especial para Termopares
- 1 Metro de cinta aislante



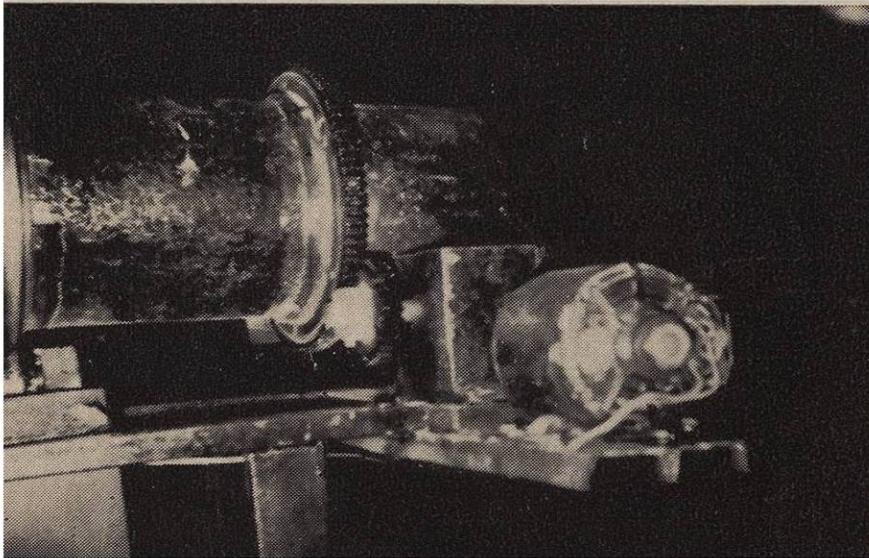
**Vista General del Aparato Secador Rotatorio, Equipado con Separador de Polvos Tipo Ciclón.**



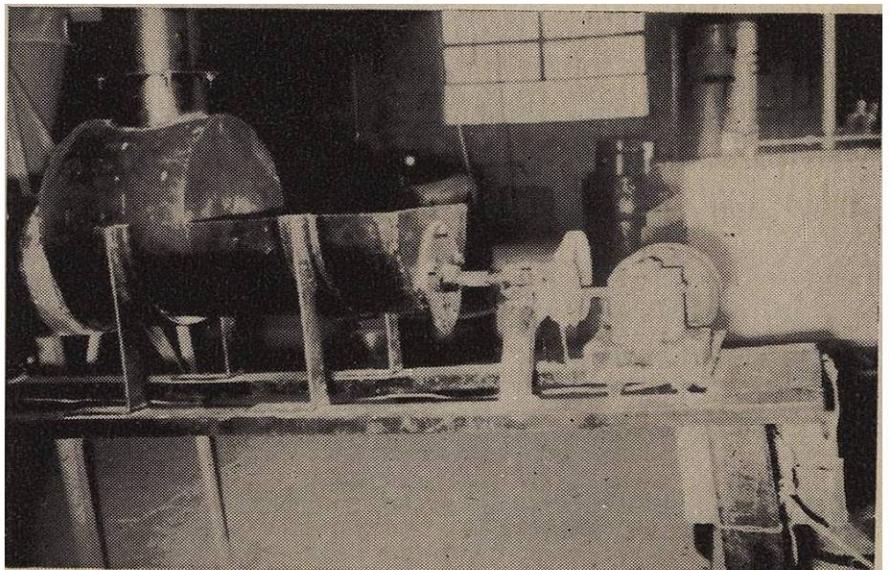
**Vista del Separador de Polvos Tipo Ciclón**



**Vista Parcial donde aparecen la Tolva Recolectora y la Cámara de Combustión del Secador. Aparece también el Potenciómetro que con ayuda del Termopar registra la Temperatura de la Cámara de Combustión.**

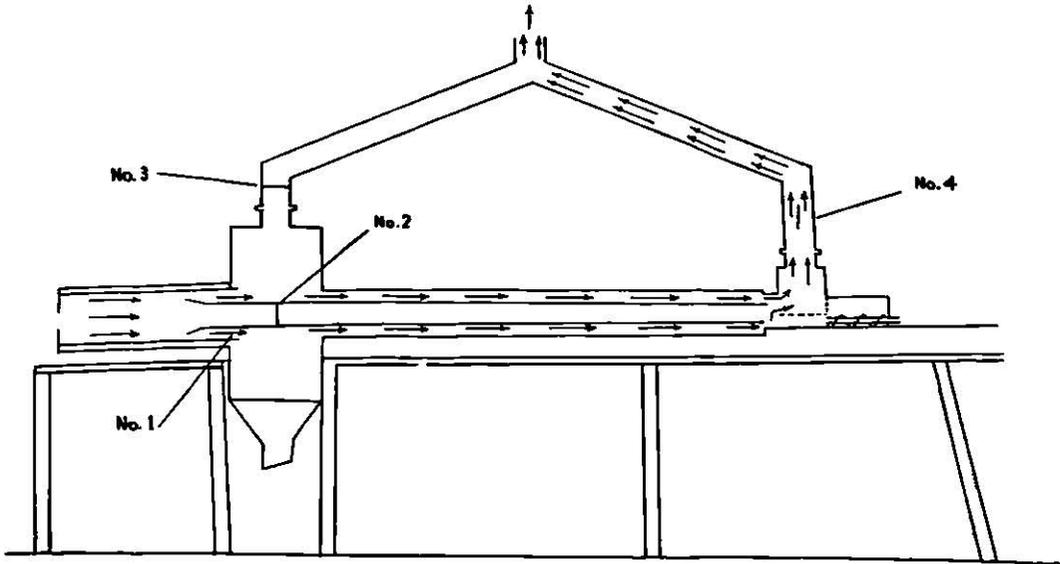


**Vista parcial del Grupo Motor-Reductor No. 1 (en primer Plano), Dispositivo Motriz del Tunel Rotatorio, que aparece al fondo.**



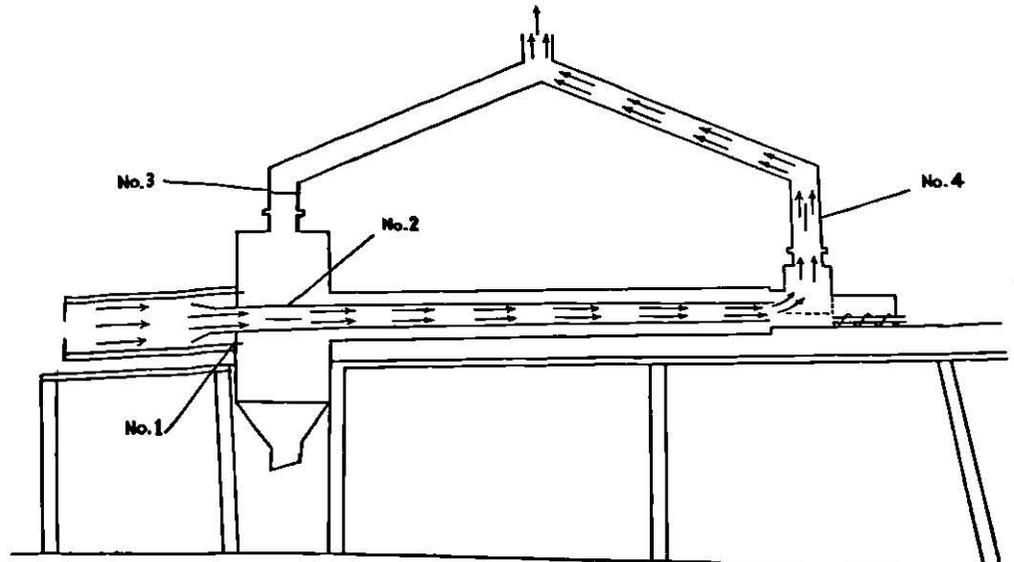
**Vista parcial del Grupo Motor-Reductor No. 2 (a la derecha) y del sistema de Alimentación del Aparato, que aparece a la izquierda.**

# DIAGRAMA DE FLUJO DE GASES CALIENTES EN EL INTERIOR DEL APARATO SECADOR



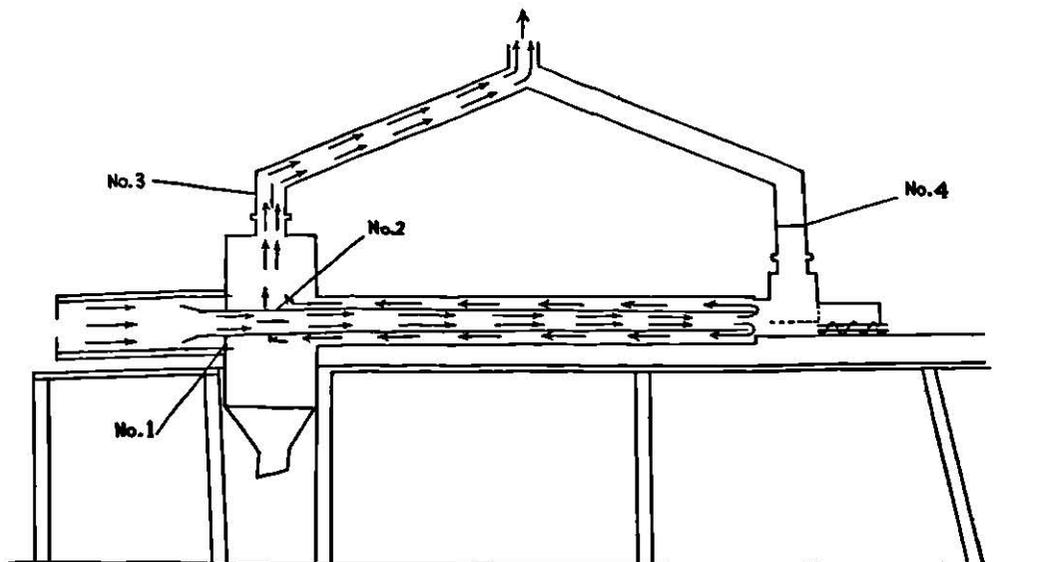
Compuerta No. 1 Abierta  
 Compuerta No. 2 Cerrada  
 Compuerta No. 3 Cerrada  
 Compuerta No. 4 Abierta

Calefacción Directa (Fig. No. 1)



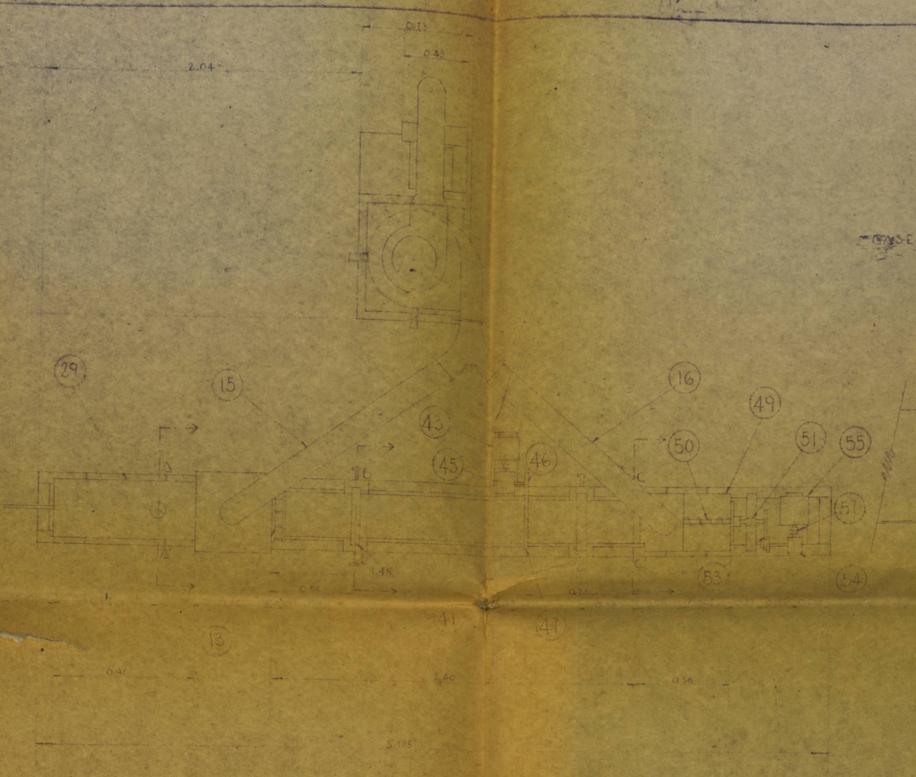
Compuerta No. 1 Cerrada  
 Compuerta No. 2 Abierta  
 Compuerta No. 3 Cerrada  
 Compuerta No. 4 Abierta

Calefacción Indirecta (Fig. No. 2)

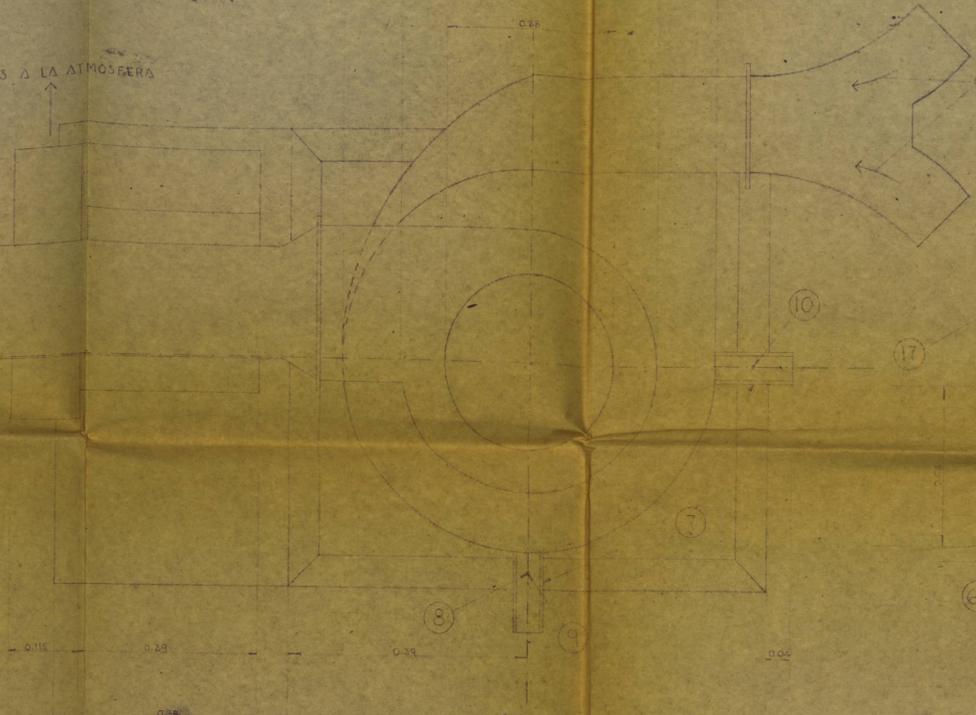


Compuerta No. 1 Cerrada  
 Compuerta No. 2 Abierta  
 Compuerta No. 3 Abierta  
 Compuerta No. 4 Cerrada

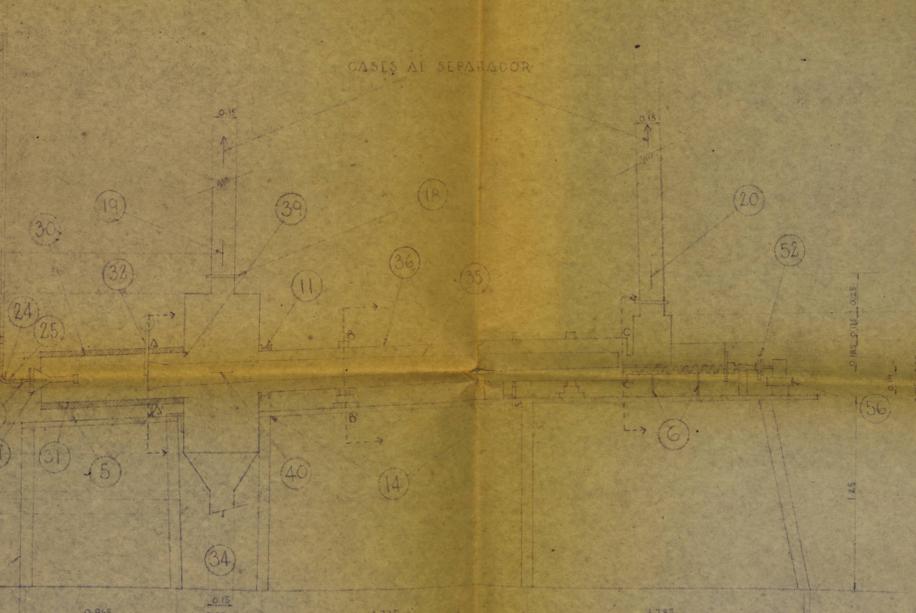
Calefacción Indirecta-Directa (Fig. No. 3)



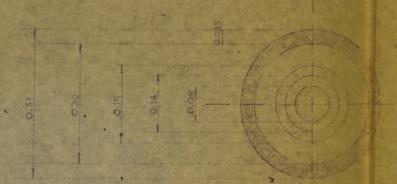
VISTA SUPERIOR DEL APARATO  
ESC. 1:20



VISTA SUPERIOR DEL SEPARADOR  
ESC. 1:5



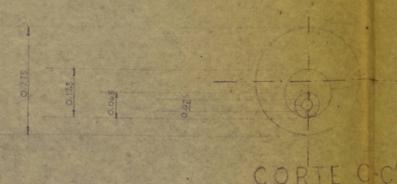
CORTE LONGITUDINAL DEL SECADOR  
ESC. 1:20



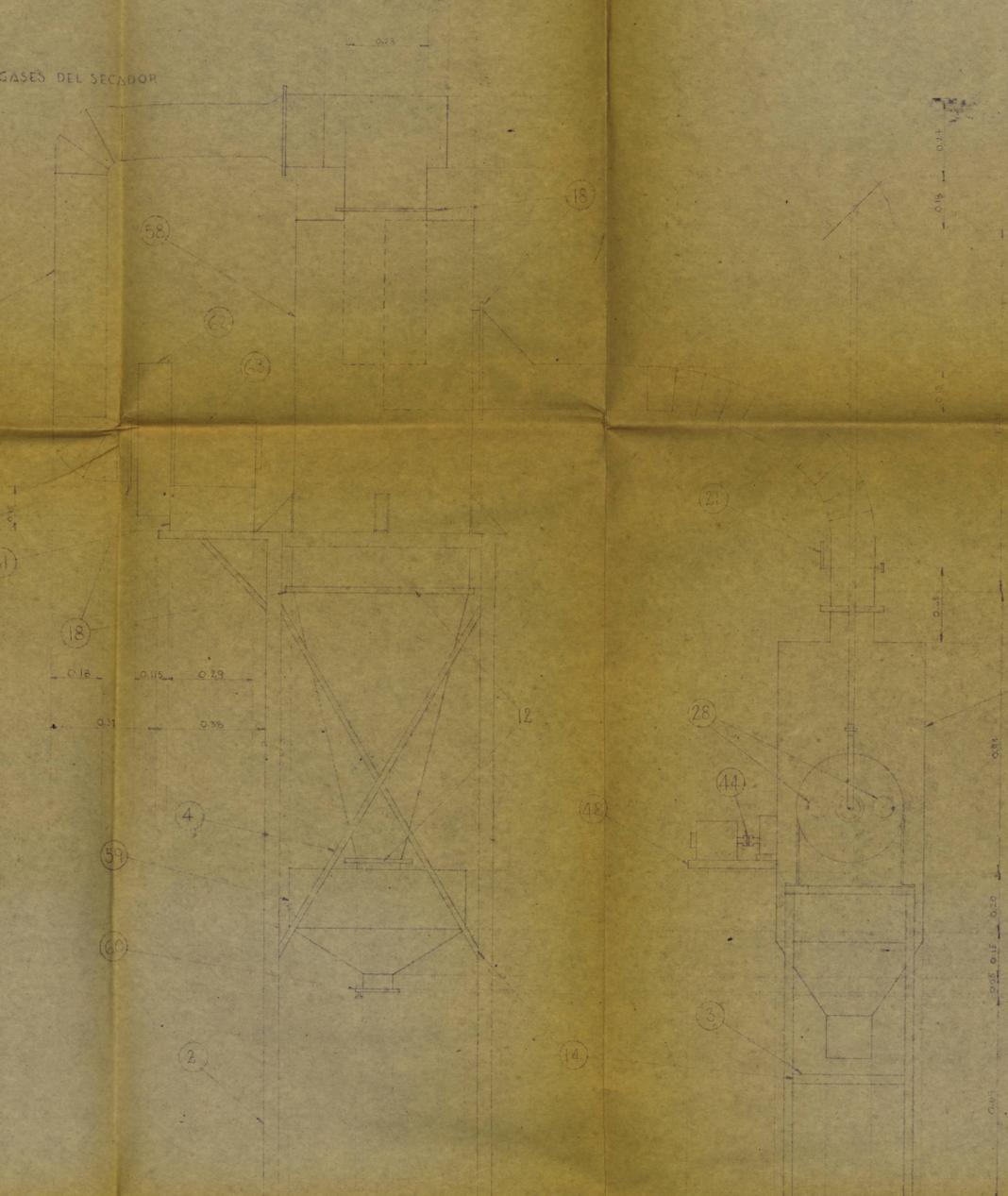
CORTE A-A



CORTE B-B



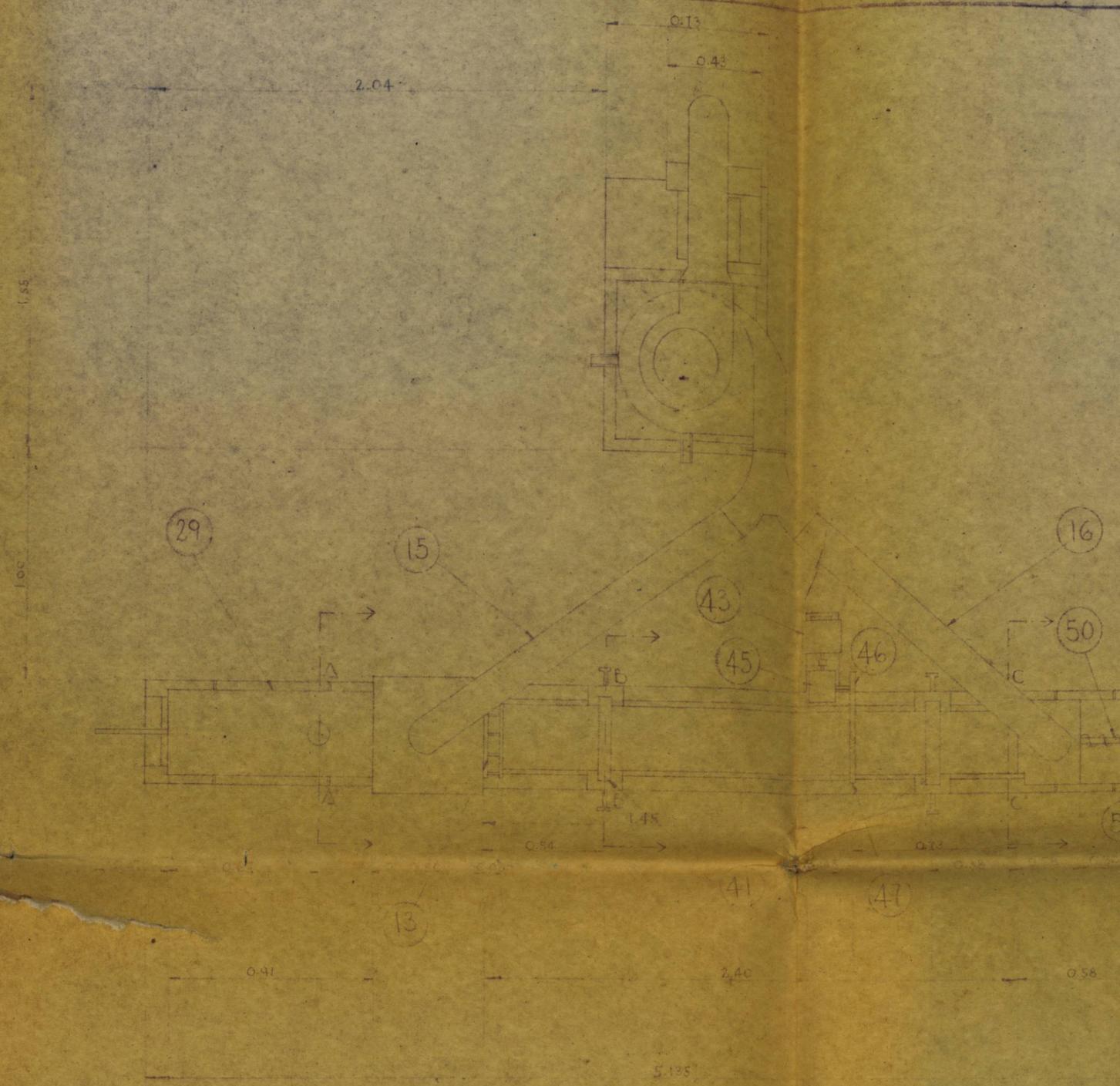
CORTE C-C



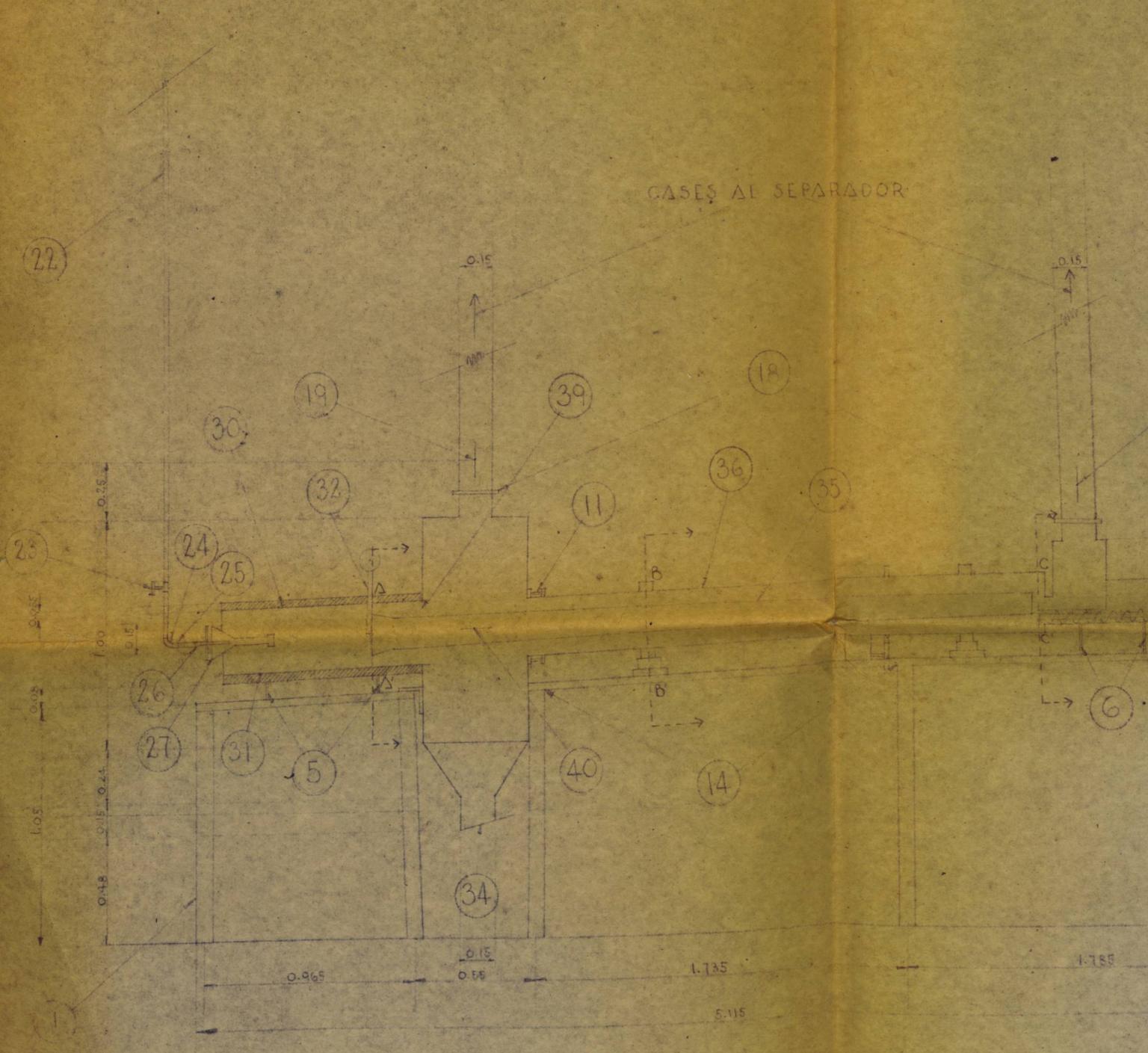
VISTA LATERAL DEL APARATO  
ESC. 1:10

ACOTACIONES EN METROS

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON.  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
SECADOR ROTATORIO EXPERIMENTAL DE  
CALEFACCION INDIRECTA DIRECTA.  
TESIS PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA  
ARTURO FLORES PEREZ | MARZO DE 1962



VISTA SUPERIOR DEL APARATO  
 ESC. 1:20



CORTE LONGITUDINAL DEL SECADOR  
 ESC. 1:20

## X.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Las conclusiones que pueden sacarse al observar detenidamente el funcionamiento del aparato secador y al examinar con cuidado los resultados obtenidos en las prácticas experimentales, así como la eficiencia térmica del secador, son las siguientes:

El equipo, aún cuando funciona más o menos satisfactoriamente desde el punto de vista mecánico, tiene los siguientes errores u omisiones principales:

### En el Diseño:

1.- Falta de Rompe-Fuegos en la cámara de combustión, el cual desbarataría la llama, evitando que ésta golpeará en el tubo conductor de gases al secador y la quemara o la tuerza, a la vez que serviría para mezclar mejor los gases y el aire, balanceando la temperatura; y por último serviría también de piloto para evitar que la llama se apague en caso dado.

2.- Tiro inducido demasiado alto, debido al Grupo Motor-Extractor excesivamente grande para las necesidades del aparato, lo cual hace que la velocidad de los gases sea demasiado alta, determinando un arrastre indebido de los polvos finos hacia el separador Ciclón, sucediendo esto sobre todo si se alimenta material muy fino o ligero (Ej. Tabaco). Este error puede corregirse fácilmente con la instalación de un sistema de compuertas entre el Grupo Motor-Extractor y el separador de polvos Ciclón.

3.- Convendría instalar también, en la cámara de combustión, y en lugar del termopar de hierro-Constantano, un dispositivo que midiera la temperatura de bulbo húmedo de los gases que van a efectuar la calefacción cuando la temperatura de éstos fuese inferior de 100 grados centígrados.

4.- Otro detalle que convendría considerar sería el acondicionamiento de un aislante térmico para el túnel rotatorio, que podría hacerse con fibra de vidrio y pegamentos especiales, lo cual redundaría en una reducción apreciable de las pérdidas de calor y por lo tanto en un incremento en la eficiencia del equipo.

En la Operación:

Las temperaturas de los gases que van a efectuar la calefacción son por lo general en las prácticas efectuadas, excesivamente elevadas, excluyendo solamente las prácticas Nos 4 y 5 en las cuales dicha temperatura es menor de  $160^{\circ}\text{C}$  de promedio, temperatura suficientemente elevada para efectuar una calefacción bastante aceptable, dado el diseño del aparato.

Por lo tanto, temperaturas superiores de  $160^{\circ}\text{C}$  de promedio en los gases de entrada, son absolutamente inútiles y motivan desperdicio de combustible.

Tomando en consideración los errores antes citados, al hacer el examen de la eficiencia térmica del aparato, es explicable que el porcentaje de ella sea tan bajo y que las calorías desperdiciadas por la combustión del gas natural en exceso, sean reportadas como pérdidas de calor, las cuales son elevadísimas.

En otras palabras, y en mi personal opinión, para la velocidad de alimentación de material con que funciona el aparato, su tiempo de retención de partículas y dada su capacidad de secado relativamente grande bajo el sistema de calefacción indirecta-directa, yo recomendaría el uso de gases de entrada al secador, cuya temperatura no sobrepase por ningún motivo de  $160^{\circ}\text{C}$  de promedio, y que el tiro inducido del aparato sea reducido ya sea como se menciona antes o en otra forma, cuando menos a una tercera parte de su capacidad actual.

XI.- BIBLIOGRAFIA.

John H. Perry                      Vols. I y II en Español 1959  
Manual del Ingeniero Químico

George Granger Brown              1956  
Unit Operations

Charles D. Hodgman, M.S.      33ava. Edición 1951  
Handbook of Chemistry and Physics

Hougen, Watson, Regatz      Vol. I. 2a. Edición 1956  
Chemical Process Principles

Lewis, Radasch and Lewis      2a. Edición 1954  
Industrial Stoichiometry

Hougen, Watson                      1a. Edición 1946  
Chemical Process Principles Charts

